

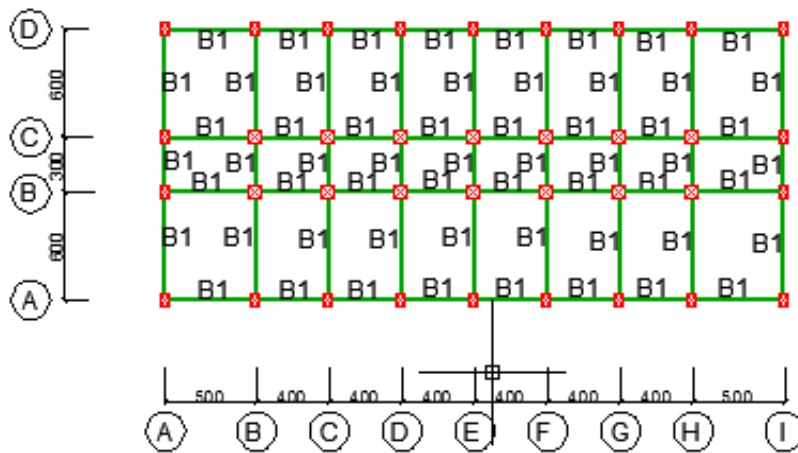
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

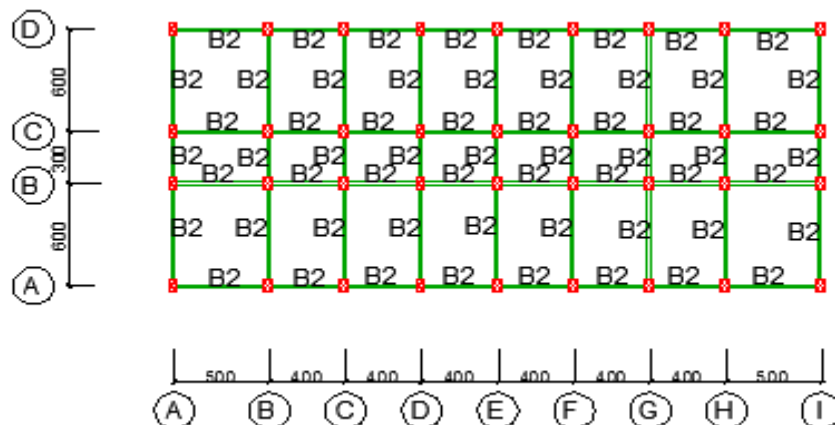
Balok yang akan direncanakan terdapat beberapa macam dimensi, yang didasarkan pada arah bentang dan besar gaya dalam yang diterima oleh balok tersebut. Dimensi balok yang direncanakan, yaitu :

1. Balok B1 dengan dimensi 40 x 60 cm
2. Balok B2 dengan dimensi 30 x 50 cm



Gambar 4.1 Denah Balok B1 Pada lantai 1

Sumber : Denah Redesign Penulis dari CV ART'a MULYA



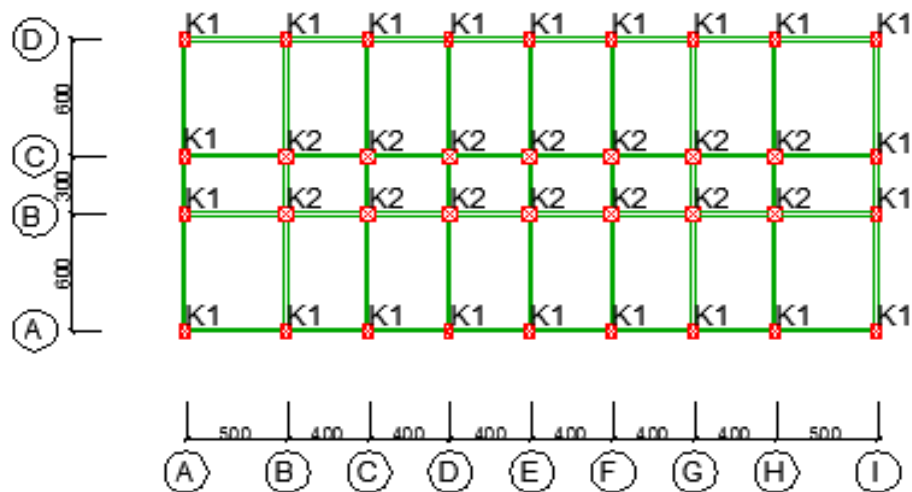
Gambar 4.2 Denah Balok B2 Pada lantai 2-6

Sumber : Denah Redesign Penulis dari CV ART'a MULYA

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

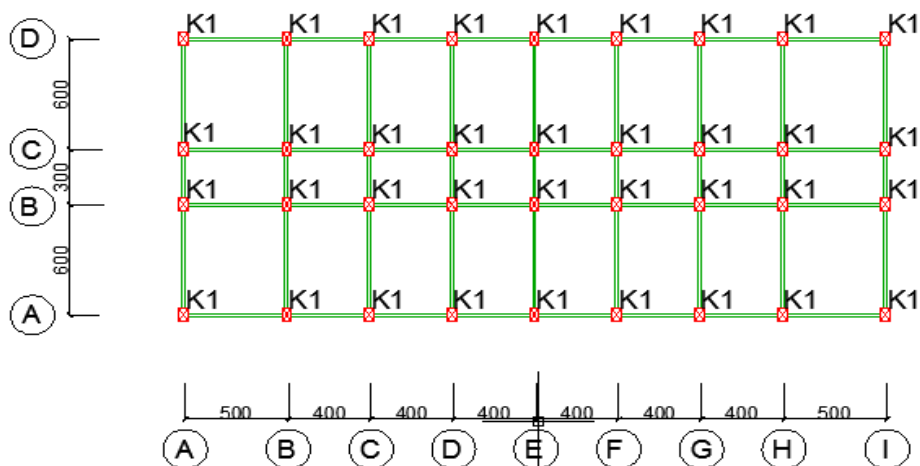
Pada perencanaan ini dimensi kolom harus memiliki inersia yang lebih besar dari balok, sehingga dimensi kolom direncanakan adalah sebagai berikut.

1. K1 adalah kolom yang digunakan pada lantai 1 sampai dengan lantai 6 dengan dimensi 45 x 70 cm
2. K2 adalah kolom yang digunakan pada lantai 1 dengan dimensi 70 x 70 cm



Gambar 4.3 Denah Kolom K1 dan K2 Pada Lantai 1

Sumber : Denah Redesign Penulis dari CV ART'a MULYA



Gambar 4.4 Denah Kolom K1 Pada Lantai 2-6

Sumber : Denah Redesign Penulis dari CV ART'a MULYA

4.1.3 Perencanaan Tebal Pelat

Sistem lantai yang digunakan adalah sistem diafragma (kaku).Tebal pelat yang digunakan pada perencanaan gedung ini adalah 12 cm sesuai dengan keadaan existing gedung tersebut dan pelat atap 10 cm.

4.2 Analisis Struktur

4.2.1 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan pada perencanaan Gedung Kuliah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati
2. Beban Hidup
3. Beban Gempa

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas, maka beton bertulang Gedung Kuliah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan. Berikut ini kombinasi pembebanan menurut SNI 2847-2013

- (a) $1,4 D$
- (b) $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- (c) $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
- (d) $1,2 D + 1,0 L + 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$
- (e) $0,9 D \pm 1,0 W$
- (f) $1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- (g) $0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan:

- D : beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen
- L : beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
- A : beban atap
- R : beban hidup
- W : beban angin
- E : beban gempa

4.2.2 Analisis Pembebanan

4.2.2.1 Beban Mati

Sesuai dengan peraturan pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983), beban mati diatur sebagai berikut:

Berat sendiri baja	= 7850 kg/m ³
Berat isi beton	= 2400 kg/m ³
Berat spesi per cm tebal	= 21 kg/m ³
Berat keramik	= 24 kg/m ³
Berat pasangan bara merah ½ batu 15 cm	= 250 kg/m ³
Berat eternity + penggantung langit-langit	= 18 kg/m ³

4.2.2.2 Beban Hidup

Sesuai dengan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, maka beban hidup yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Beban hidup lantai (ruang kelas) = 40 psf (195,3 kg/m²)
- Beban hidup atap = 20 psf (97,7 kg/m²)

Dimana = (1 psf = 4.882 kg/m²)

4.2.2.3 Beban Pelat

Direncanakan:

Tebal pelat lantai	= 12 cm
Tebal pelat atap	= 10 cm
Tebal spesi	= 3 cm
Tebal keramik	= 1 cm
Beban hidup lantai (ruang kelas)	= 40 psf (195,3 kg/m ²)
Beban hidup atap	= 20 psf (97,7 kg/m ²)

a. Beban pelat sebelum cor penuh

1. Beban mati pelat lantai dan pelat atap

berat sendiri = 1 selfweight pelat

2. Beban hidup pelat lantai dan atap

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 20 psf (97,7 kg/m²) dan 40 psf (195,3 kg/m²).

b. Beban pelat setelah cor penuh

1. Beban mati pelat lantai dan pelat atap

berat sendiri = 1 selfweight pelat

berat spesi = 3 . 21 = 63 kg/m²

berat keramik = 1 . 24 = 24 kg/m²

plafond = 11 = 11 kg/m²

$$\text{berat instalasi} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{total berat} = 123 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban hidup pelat lantai (beban guna)

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 40 psf ($195,3 \text{ kg/m}^2$) untuk ruang kelas

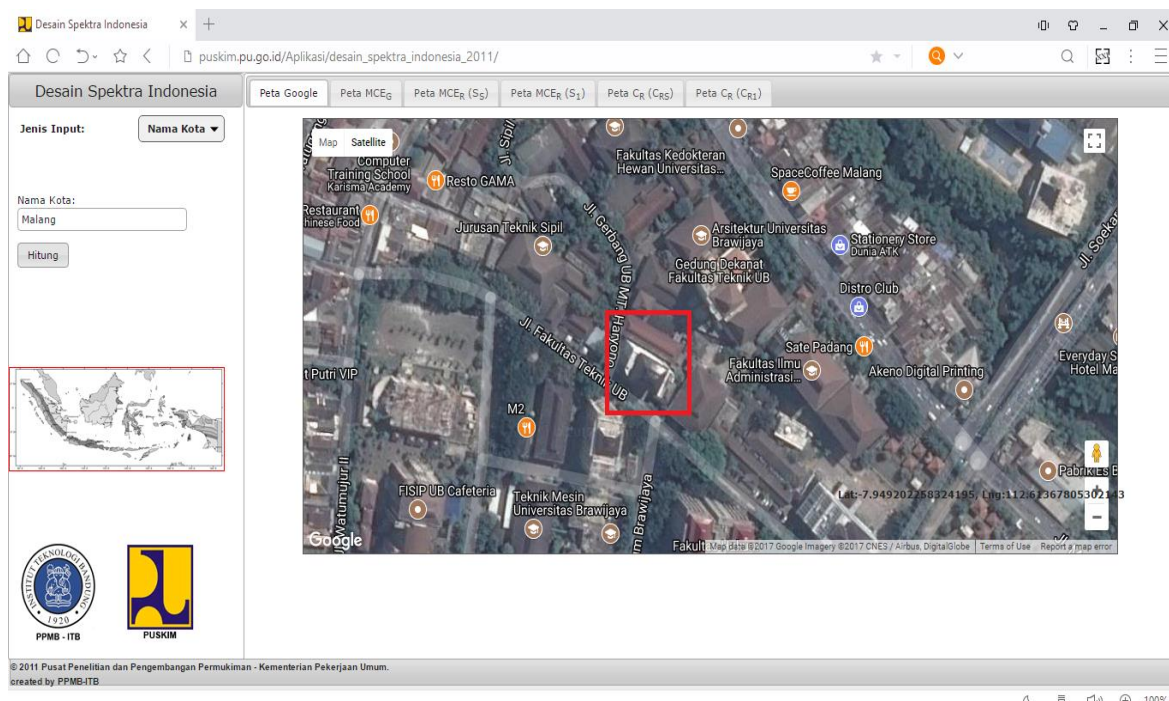
3. Beban hidup pelat atap

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 20 psf ($97,7 \text{ kg/m}^2$) kg/m^2

4.2.3 Analisis Beban Gempa

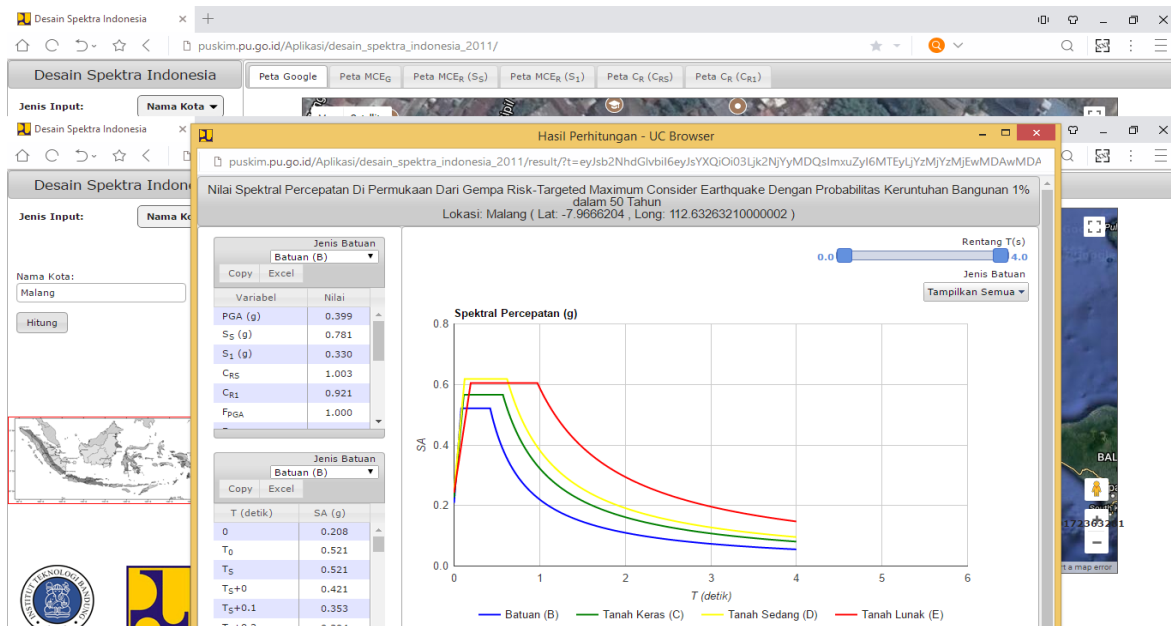
Pada perhitungan beban gempa pada Gedung Kuliah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, perhitungan yang digunakan adalah spektrum repons desain dengan menggunakan program yang telah disediakan dinas PU(Pekerjaan Umum):http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

Untuk mendapatkan data respons spektrum memasukan data koordinat lokasi ataupun nama kota yang ditinjau, seperti berikut:



Gambar 4.5 Peta Lokasi Gedung

Sumber : http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.



Gambar 4.6 Respon spektral percepatan di permukaan

Sumber : http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

Data yang di peroleh berdasarkan program yang telah disediakan PU:

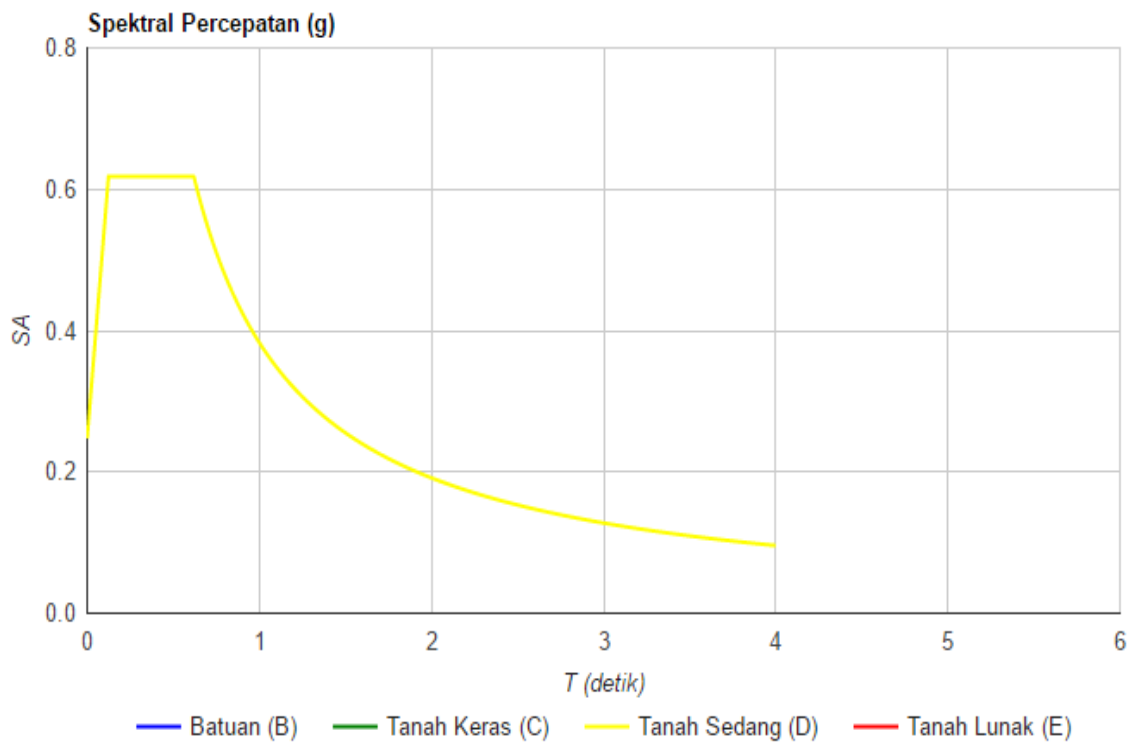
Tabel 4.1 Hasil Output variabel respons spektrum

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,399
S _s (g)	0,781
S ₁	0,330
C _{RS}	1,003
C _{R1}	0,921
F _{PGA}	1,000
F _A	1,000
F _V	1,000
PSA (g)	0,399
S _{MS} (g)	0,781
S _{M1} (g)	0,330
S _{DS} (g)	0,521
S _{D1} (g)	0,220
T ₀ (detik)	0,084
T _s (detik)	0,422

Koordinat Spektrum respons desain:

Tabel 4.2 koordinat spektrum respons desain

T (detik)	SA (g)
0	0.208
T0	0.521
TS	0.521
TS+0	0.421
TS+0.1	0.353
TS+0.2	0.304
TS+0.3	0.267
TS+0.4	0.238
TS+0.5	0.215
TS+0.6	0.196
TS+0.7	0.18
TS+0.8	0.166
TS+0.9	0.155
TS+1	0.144
TS+1.1	0.136
TS+1.2	0.128
TS+1.3	0.121
TS+1.4	0.114
TS+1.5	0.109
TS+1.6	0.104
TS+1.7	0.099
TS+1.8	0.095
TS+1.9	0.091
TS+2	0.087
TS+2.1	0.084
TS+2.2	0.081
TS+2.3	0.078
TS+2.4	0.075
TS+2.5	0.073
TS+2.6	0.07
TS+2.7	0.068
TS+2.8	0.066
TS+2.9	0.064
TS+3	0.062
TS+3.1	0.061
TS+3.2	0.059
TS+3.3	0.058
TS+3.4	0.056
4	0.055



Gambar 4.7 Respons spektrum desain

Sumber : http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

4.3 Pemodelan pada SAP2000 v15

Ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk membuat pemodelan struktur pada software SAP2000 v15. Berikut adalah beberapa tahapan dan input yang dimasukkan pada software SAP2000 v15:

a. *Grid System*

Grid system adalah untuk memuat informasi tentang letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu x, y dan z.

b. *Define → Materials*

Memuat informasi tentang data material atau mutu bahan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur.

c. *Define → Section Properties*

Memuat informasi tentang data dimensi balok, kolom dan pelat. Juga data-data dari elemen struktur batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis melalui *property*, dan momen inersia dari setiap elemen.

d. *Assign → Joint → Restraint*

Memuat informasi mengenai macam-macam tumpuan yang akan digunakan.

e. *Function → Respons Spektrum*

Memuat tentang data respons spektrum yang akan bekerja sebagai beban gempa pada pemodelan struktur.

f. *Define → Load Patterns*

Memuat informasi tentang data-data dari elemen batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis meliputi beban yang bekerja pada elemen. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

- Dead load
- Live load
- Quake
- Other

g. *Define → Load Combination*

Memuat informasi mengenai kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur utama.

h. *Analyze → Run Analyze*

Memuat informasi untuk mendapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

i. *Display → Show Tables*

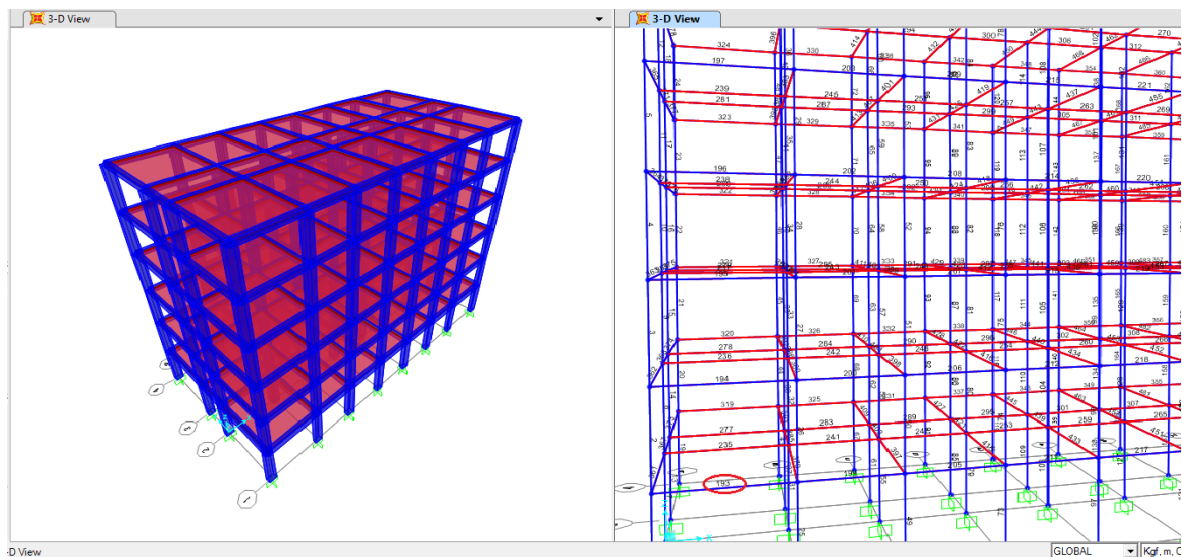
Memuat Tabel lengkap dari besaran momen, gaya lintang maupun gaya normal pada elemen setelah dianalisis

4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok

Berikut adalah hasil analisis struktur balok Gedung Kuliah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya dengan menggunakan software SAP2000 v15. Untuk tabel yang lebih lengkap, akan ditampilkan pada lampiran. Dari tabel tersebut, maka didapatkan momen maksimum terjadi pada balok nomor 193 (lihat kolom M3) dengan momen tumpuan terjadi sebesar -46067,86 kg m dan momen lapangan pada balok 193 sebesar 17274,93 kg m

Tabel 4.3 Hasil Output Analisis Struktur Balok 1

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
151	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-1110637.1	-20833.02	3762.16	-91.22	4647.47	-56948.98
158	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-881420.33	-18929.77	-2069.6	-93.8	-4263.19	-46769.33
128	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-818723	-19100.06	2027.05	-90.59	4146.7	-46419.86
134	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-818826.96	-19095.2	-2076.92	-95.57	-4257.34	-46409.65
104	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-812852.87	-18928.82	2046.38	-91.12	4188.37	-46139.17
193	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-812884.7	-18923.72	-2058.62	-97.65	-4215.44	-46138.41
355	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-1444.2	-29744.94	-61.19	159.62	-163.27	-46067.86
80	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-1445.33	6698.64	-62.89	162.4	-184.66	-46005.96
319	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-812846.64	-18892	2048.33	-90.8	4193	-46061.41
86	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-1441.71	-29741.26	-70.53	-180.19	-186.63	-46054.85
229	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-812901.73	-18886.01	-2056.69	-97.97	-4210.86	-46049.06
56	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-1442.26	6697.63	-67.73	-181.84	-160.9	-46045.56
62	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-818790.34	-18610.24	2029.13	-89.45	4153.32	-45577.85
277	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-819217.21	-18594.46	-2075.15	-96.07	-4251.32	-45547.73
271	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-881.9	6294.96	-58.37	123.05	-110.22	-44011.13
313	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-882.64	-29949.19	-54.12	121.33	-125.92	-44006.93
235	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-882.92	-29946.26	-49.22	-125.68	-113.82	-43999.8
235	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-881.85	6284.16	-46.66	-124.07	-122.87	-43998.21
271	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-881.85	-28275.84	-46.66	-124.07	-126.15	-42209.44
271	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-882.64	4610.81	-54.12	121.33	-122.17	-42200.92
313	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-882.92	4613.74	-49.22	-125.68	-151.95	-42199.31



Gambar 4.8 Pemodelan analisis struktur pada balok 1

Sumber : Hasil Analisis SAP200 v15

4.4.1 Penulangan Utama

Momen-momen maksimum didapatkan dari kombinasi beban

$$M_{U \text{ Tump}} = -46067,86 \text{ kg m}$$

$$M_{U \text{ Lap}} = 17274,93 \text{ kg m}$$

$$f'_c = 29.05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Dimensi balok} = 400 \times 600 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut efektif} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Bentang balok} = 5000 \text{ mm}$$

Analisa Tulangan :

- Cek perilaku balok apakah balok berperilaku sebagai balok T murni atau T persegi (Istimawan 79)

$$M_R (\text{momen tahanan}) = \phi \times 0,85 \times f_c' \times b_e \times h_f \times (d - h_f / 2)$$

Keterangan :

- ✓ **Jika $M_R > M_u$** , maka tinggi a sebenarnya adalah $< h_f$ dan flens mampu menahan tekan seluruhnya. Ini berarti balok berperilaku sebagai balok T persegi.
- ✓ **Jika $M_R < M_u$** , maka tinggi a sebenarnya adalah $> h_f$ dan flens tidak mampu menahan tekan seluruhnya. Ini berarti balok berperilaku sebagai balok T murni.

Perhitungan lebar efektif (b_e) pada balok 1 :

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.12 :

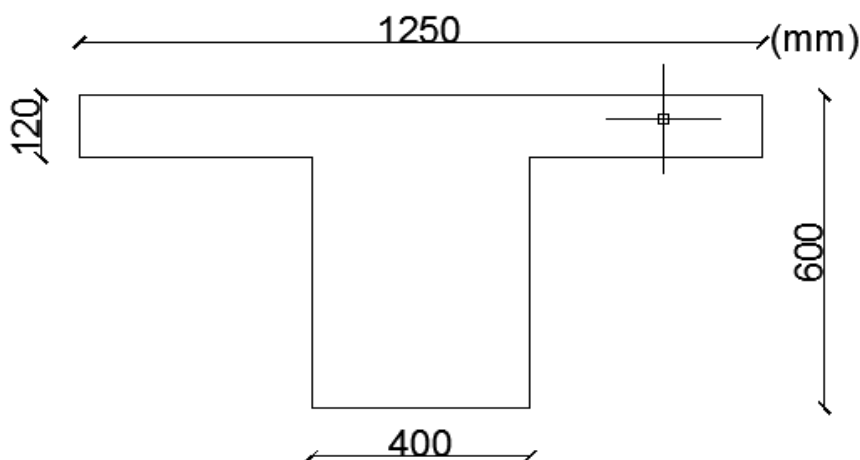
Lebar efektif balok T tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari :

- $b_w + 16 h_f = 400 + (16 \times 120) = 2320 \text{ mm}$
- $b_w + l_n = 400 + (5000 - (600/2) \times 2) = 9700 \text{ mm}$
- $\frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 5000 = 1250 \text{ mm}$

Maka diambil lebar efektif (b_e) yang terkecil yaitu = 1250 mm

Keterangan :

- ✓ Untuk perhitungan analisis tulangan digunakan :
 - $b_e = b_w = 400 \text{ mm}$ jika balok berperilaku sebagai balok T- persegi
 - $b_e = 1250 \text{ mm}$ jika balok berperilaku sebagai balok T- murni



Gambar 4.9 Gambar balok T

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= 600 - 50 \\ &= 550 \text{ mm} \end{aligned}$$

Analisa Tulangan Tumpuan Balok 1

Nilai Mu diambil yang terbesar antara momen tumpuan positif dan negatif.

$$Mu = -46067,86 \text{ kgm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'_c)}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 29,05)}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0236 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2} \\ &= \frac{46067,86 \times 10000}{0,8 \times 400 \times 550^2} = 4,759 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,199 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{16,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,199 \times 4,759}{400}} \right] \\ &= 0,0133 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{dipakai } \rho = 0,0133$$

$$As = \rho \times b_e \times d = 0,0133 \times 400 \times 550 = 2934,54 \text{ mm}^2$$

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 2934,54 = 1467,27 \text{ mm}^2$$

Dari nilai As dan As' yang diperoleh maka dapat ditentukan jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang diperoleh dari tabel tulangan :

$$\text{Tulangan tarik (atas)} : 6\text{-D29 (3850 mm}^2 \text{ /m)}$$

Tulangan tekan (bawah) : 6-D19 ($1720 \text{ mm}^2 / \text{m}$)

Gambar penulangan

Kontrol Momen Kapasitas Penampang (momen tumpuan)

Diketahui :

- ~Tulangan tarik = 6-D29 ($3850 \text{ mm}^2 / \text{m}$)
- ~Tulangan tekan = 6-D19 ($1720 \text{ mm}^2 / \text{m}$)
- ~ f'_c = 29.05 Mpa
- ~ f_y = 400 Mpa
- ~ ϵ_s = 0,003
- ~ E_s = 2.10^5 MPa
- ~ Ukuran Balok = 40/60 cm
- ~ d = 550 mm
- ~ d' = 50 mm

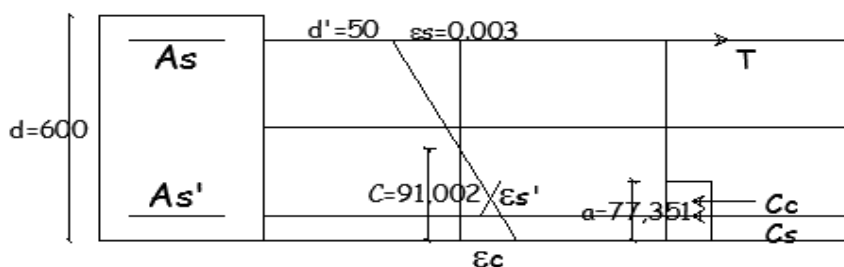
Perhitungan :

- Asumsi : (Tulangan Lemah)
 Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s > f_y$
 Tulangan tekan (A_s') belum leleh $\Rightarrow f_s' < f_y$
- $T = A_s \times f_y = 3850 \times 400 = 1540000 \text{ N}$
- $C_s = A_s' \times f_y = 1720 \times 400 = 688000 \text{ N}$
- $C_c = 0,85 f'_c \times b_e \times a = 0,85 \times 29.05 \times 400 \times a = 9877 a$
- Kesetimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$9877 a + 688000 = 1540000$$

$$a = 77,351 \text{ mm}$$
- $c = \frac{a}{\beta} = \frac{77,351}{0,85} = 91,002 \text{ mm} > d' = 50$



Gambar 4.10 Gambar diagram regangan – tegangan balok tumpuan

- Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{550 - 91,002}{91,002} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 3026,31 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$F_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{91,002 - 50}{91,002} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 270,335 \text{ MPa} < f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (d - a/2) + C_s (d - d') \\ &= 0,85 \times f'_c \times b \times a (d - a/2) + A_s' f'_s (d - d') \\ &= 0,85 \times 29,05 \times 400 \times 77,351 \times (550 - 77,351 / 2) + 1720 \times 270,335 (550 - 50) \\ &= 652877417,6 \text{ Nmm} \\ &= 65287,742 \text{ kgm} \\ M_n &= 0,8 \times 65287,742 \text{ kgm} \\ &= 52230,193 \text{ kgm} > M_u = 46067,86 \text{ kg m} \dots \text{OK!!!} \end{aligned}$$

Analisa Tulangan Lapangan Balok 1

$$M_{U \text{ Lapangan}} = 17274,93 \text{ kg m}$$

$$\begin{aligned} M_R (\text{momen tahanan}) &= \phi \times 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f \times (d - h_f / 2) \\ &= 0,8 \times 0,85 \times 29,05 \times 1250 \times 120 \times (550 - 120/2) \\ &= 1451919000 \text{ N mm} \\ &= 145191,9 \text{ kg m} > 17274,93 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$M_R > M_{U \text{ lap}} \rightarrow \text{T-Persegi}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\begin{aligned}
&= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'c)}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
&= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 29.05)}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
&= 0,0236
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2} \\
&= \frac{17274,93 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 550^2} = 1,785 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \\
&= \frac{400}{0,85 \times 29.05} = 16,199
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{16,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,199 \times 1,785}{400}} \right] \\
&= 0,0046
\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,0046$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,0046 \times 400 \times 550 = 1019,82 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 1034.15 = 509,91 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka dapat ditentukan jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang diperoleh dari tabel tulangan :

Tulangan tarik (bawah) : 5-D19 (1430 mm² /m)

Tulangan tekan (atas) : 5-D13 (634 mm² /m)

Gambar Penulangan

Kontrol Momen Kapasitas Penampang (momen lapangan)

Diketahui :

~ Tulangan tarik = 5-D19 (1430 mm² /m)

~ Tulangan tekan = 5-D13 (634 mm² /m)

~ $f'c$ = 29.05 Mpa

~ f_y = 400 Mpa

$\sim \epsilon_s$	$= 0,003$
$\sim E_s$	$= 2.10^5 \text{ MPa}$
$\sim \text{Ukuran Balok}$	$= 40/60 \text{ cm}$
$\sim d$	$= 550 \text{ mm}$
$\sim d'$	$= 50 \text{ mm}$

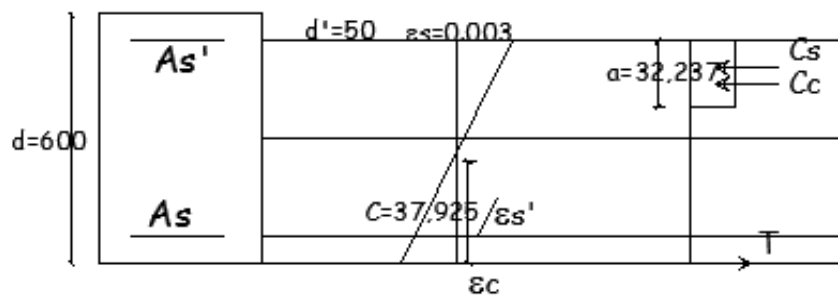
Perhitungan :

- Asumsi : (Tulangan Lemah)

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s > f_y$

Tulangan tekan (A_s') belum leleh $\Rightarrow f_s' < f_y$

- $T = A_s \times f_y = 1430 \times 400 = 572000 \text{ N}$
- $C_s = A_s' \times f_y = 634 \times 400 = 253600 \text{ N}$
- $C_c = 0,85 f'_c \times b_e \times a = 0,85 \times 29,05 \times 400 \times a = 9877 a$



Gambar 4.11 Gambar diagram regangan – tegangan balok lapangan

- Kestimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$9877 a + 253600 = 572000$$

$$a = 32,237 \text{ mm}$$

- $c = \frac{a}{\beta} = \frac{32,237}{0,85} = 37,925 \text{ mm} < d' = 50 \text{ mm}$

- Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{550 - 37,925}{37,925} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 8101,31 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$F_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d' - c}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{50 - 37,925}{37,925} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 191,029 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

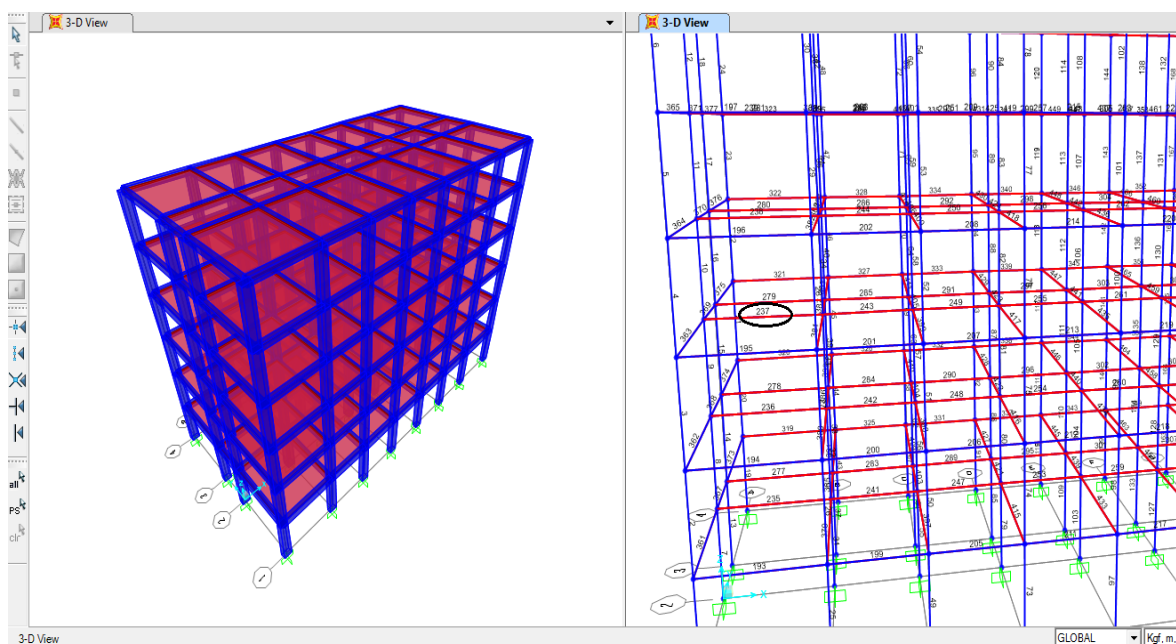
$$\begin{aligned} M_n &= C_c (d - a/2) \\ &= 0.85 \times f'_c \times b \times a (d - a/2) + A_s' f'_s (d - d') \\ &= 0.85 \times 29.05 \times 400 \times 32,237 \times (550 - 32,237/2) + 643 \times 191,029 \times (550 - 50) \\ &= 230544007,7 \text{ Nmm} \\ &= 23054,401 \text{ kgm} \\ M_n &= 0,8 \times 23054,401 \text{ kgm} \\ &= 18443,521 \text{ kgm} > M_u = 17274,93 \text{ kg m} \dots \dots \dots \text{OK!!!} \end{aligned}$$

Perhitungan pada balok 2 :

Untuk tabel yang lebih lengkap, akan ditampilkan pada lampiran. Dari tabel tersebut, maka didapatkan momen maksimum terjadi pada balok nomor 237 (lihat kolom M3) dengan momen tumpuan terjadi sebesar -33500,58 kg m dan momen lapangan pada balok 237 sebesar 12811,01 kg m

Tabel 4.4 Hasil Output Analisis Struktur Balok 2

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
151	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-1110637.1	-20833.02	3762.16	-91.22	4647.47	-56948.98
129	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-616501.93	-17705.28	1776.29	-105.38	-3603.3	-34558.47
135	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-616568.89	-17702.29	-1824.31	-111.39	3487.05	-34556.76
129	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-652789.93	-17705.28	1776.29	-105.38	3610.18	-34525.94
135	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-652856.89	-17702.29	-1824.31	-111.39	-3705.03	-34523.38
105	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-647553.44	-17386.17	1797.6	-105.73	3651.87	-33911.02
111	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-647571.9	-17382.83	-1809.01	-112.56	-3674.14	-33907.77
39	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-665981.38	-15766.36	-1806.11	-112.26	3405.63	-33896.05
33	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-663154.29	-15790.38	1692.73	-111.48	-3479.49	-33851.89
81	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-647548.73	-17343.69	1800.06	-106.29	3657.14	-33837.68
87	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-647585.04	-17338.74	-1806.58	-112.61	-3668.92	-33831.44
7	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-811512.24	-10934.05	1445.12	-52.69	1845.91	-33709.22
237	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-814677.7	-10927.41	-1552.45	-50.01	-2067.08	-33695.73
315	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	286.24	-20485.76	-103.49	3.65	-278.33	-33500.58
273	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	277.39	3448.43	-99.53	3.24	-269.62	-33488.36
279	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	286.06	3448.5	-105.35	-5.58	-278.51	-33486.4
64	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	282.27	-20479.48	-100.56	-4.41	-270.08	-33483.38
58	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-450785.03	-13647.24	-1709.08	-94.84	3312.77	-33445.29
236	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-450491.38	-13676.41	1680.73	-92.99	-3422.87	-33382.45
321	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-411.16	-20298.67	-43.94	21.29	-118.42	-33094.6
321	0	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	265.61	-20344.92	-138.76	-16.7	-390.53	-33093.17



Gambar 4.12 Pemodelan analisis struktur pada balok
Sumber : Hasil Analisis SAP200 v15

Perhitungan lebar efektif (be) pada balok 2 :

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.12 :

Lebar efektif balok T tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari :

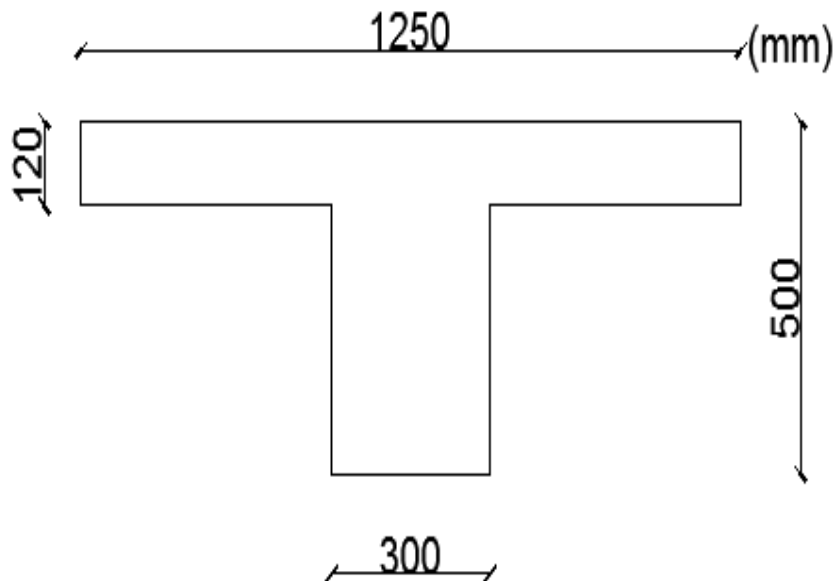
- $b_w + 16 h_f = 300 + (16 \times 120) = 2220 \text{ mm}$
- $b_w + l_n = 300 + (5000 - (500/2) \times 2) = 9800 \text{ mm}$

$$\triangleright \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 5000 = 1250 \text{ mm}$$

Maka diambil lebar efektif (b_e) yang terkecil yaitu = 1250 mm

Keterangan :

- ✓ Untuk perhitungan analisis tulangan digunakan :
 - $b_e = b_w = 400 \text{ mm}$ jika balok berperilaku sebagai balok T- persegi
 - $b_e = 1250 \text{ mm}$ jika balok berperilaku sebagai balok T- murni



Gambar 4.13 Gambar balok T

Analisa Tulangan Tumpuan Balok 2

Nilai M_u diambil yang terbesar antara momen tumpuan positif dan negatif.

$$M_u = -33500,58 \text{ kgm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'_c)}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 29,05)}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,0236$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2}$$

$$= \frac{33500,58 \times 10000}{0,8 \times 300 \times 450^2} = 6,893 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,199$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{16,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,199 \times 6,893}{400}} \right]$$

$$= 0,0207$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ dipakai } \rho = 0,0207$$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,0207 \times 300 \times 450 = 2795,19 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 2795,19 = 1397,60 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka dapat ditentukan jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang diperoleh dari tabel tulangan :

Tulangan tarik (atas) : 6-D25 (3040 mm² /m)

Tulangan tekan (bawah) : 6-D19 (1720 mm² /m)

Gambar penulangan

Kontrol Momen Kapasitas Penampang (momen tumpuan)

Diketahui :

~Tulangan tarik = 6-D25 (3040 mm² /m)

~Tulangan tekan = 6-D19 (1720 mm² /m)

~ f_c' = 29.05 Mpa

~ f_y = 400 Mpa

~ ϵ_s = 0,003

~ E_s = $2 \cdot 10^5$ MPa

~ Ukuran Balok = 30/50 cm

~ d = 450 mm

~ d' = 50 mm

Perhitungan :

- Asumsi : (Tulangan Lemah)

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s > f_y$

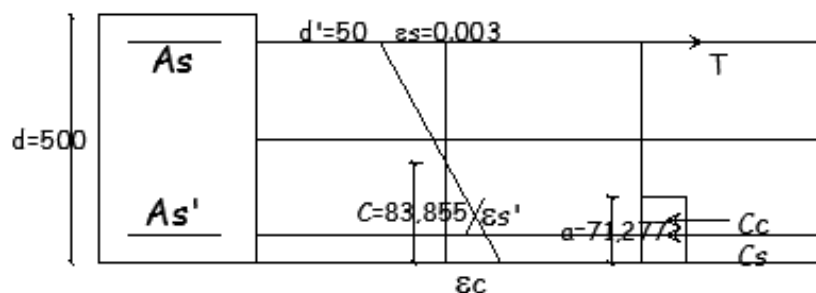
Tulangan tekan (A_s') belum leleh $\Rightarrow f_s' < f_y$

- $T = A_s \times f_y = 3040 \times 400 = 1216000 \text{ N}$
- $C_s = A_s' \times f_y = 1720 \times 400 = 688000 \text{ N}$
- $C_c = 0,85 f'_c \times b_e \times a = 0,85 \times 29,05 \times 400 \times a = 9877 a$
- Kesetimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$9877 a + 688000 = 1216000$$

$$a = 71,277 \text{ mm}$$
- $c = \frac{a}{\beta} = \frac{71,277}{0,85} = 83,855 \text{ mm} > d' = 50$



Gambar 4.14 Gambar diagram regangan – tegangan balok tumpuan

- Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{450 - 83,855}{83,855} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 2619,85 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{83,855 - 50}{83,855} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 242,239 \text{ MPa} < f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (d - a/2) + C_s (d - d') \\ &= 0,85 \times f'_c \times b \times a (d - a/2) + A_s' f'_s (d - d') \\ &= 0,85 \times 29,05 \times 400 \times 71,277 \times (450 - 71,277/2) + 1720 \times 242,239 (450 - 50) \\ &= 458371270,8 \text{ Nmm} \\ &= 45837,127 \text{ kgm} \\ M_n &= 0,8 \times 45837,127 \text{ kgm} \\ &= 36669,702 \text{ kgm} > M_u = 33500,58 \text{ kg m} \dots \text{OK!!!} \end{aligned}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned} M_{U \text{ Lapangan}} &= 12811,01 \text{ kg m} \\ M_R (\text{momen tahanan}) &= \phi \times 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f \times (d - h_f / 2) \\ &= 0,8 \times 0,85 \times 29,05 \times 1250 \times 120 \times (450 - 120/2) \\ &= 1155609000 \text{ N mm} \\ &= 115560,9 \text{ m} > 12811,01 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$M_R > M_{u \text{ lap}} \rightarrow \text{T-Persegi}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'_c)}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 29,05)}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0236 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2} \\ &= \frac{12811,01 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 450^2} = 2,636 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,199 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{16,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,199 \times 2,636}{400}} \right]$$

$$= 0,0070$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{dipakai } \rho = 0,0070$$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,0070 \times 300 \times 450 = 943,01 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 943,01 = 471,50 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka dapat ditentukan jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang diperoleh dari table tulangan :

Tulangan tarik (bawah) : 5-D19 (1430 mm² / m)

Tulangan tekan (atas) : 5-D13 (634 mm² / m)

Gambar Penulangan

Kontrol Momen Kapasitas Penampang (momen tumpuan)

Diketahui :

~ Tulangan tarik	= 5-D19 (1430 mm ² / m)
~ Tulangan tekan	= 5-D13 (634 mm ² / m)
~ f'c	= 29.05 Mpa
~ fy	= 400 Mpa
~ εs	= 0,003
~ Es	= 2.10 ⁵ MPa
~ Ukuran Balok	= 30/50 cm
~ d	= 550 mm
~ d'	= 50 mm

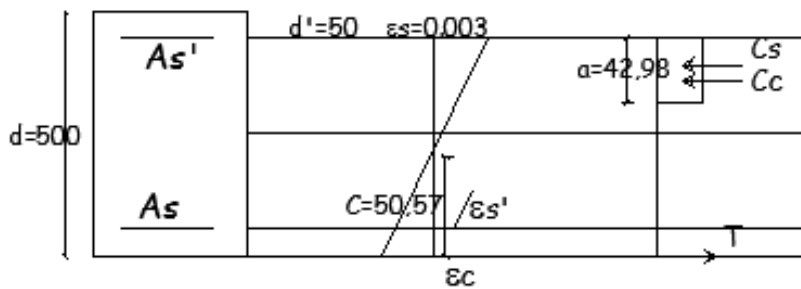
Perhitungan :

- Asumsi : (Tulangan Lemah)

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s > f_y$

Tulangan tekan (A_s') Belum leleh $\Rightarrow f_s' < f_y$

- $T = A_s \times f_y = 1430 \times 400 = 572000 \text{ N}$
- $C_s = A_s' \times f_y = 634 \times 400 = 253600 \text{ N}$
- $C_c = 0,85 f'c \times b_e \times a = 0,85 \times 29.05 \times 400 \times a = 9877 a$



Gambar 4.15 Gambar diagram regangan – tegangan balok lapangan

- Kestimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$9877 a + 253600 = 572000$$

$$a = 42,982 \text{ mm}$$

- $c = \frac{a}{\beta} = \frac{42,982}{0,85} = 50,567 \text{ mm} > d' = 50 \text{ mm}$

- Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{450 - 50,567}{50,567} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 4739,44 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$F_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{50,567 - 50}{50,567} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 6,729 \text{ MPa} < f_y = 400 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

$$M_n = C_c (d - a/2)$$

$$= 0,85 \times f'_c \times b \times a (d - a/2) + A_s' f'_s (d - d')$$

$$= 0,85 \times 29,05 \times 400 \times 42,982 \times (575 - 42,982/2) + 634 \times 6,729 \times (450 - 50)$$

$$= 183622715,16 \text{ Nmm}$$

$$= 18362,272 \text{ kgm}$$

$$M_n = 0,8 \times 18362,272 \text{ kgm}$$

$$= 14689,817 \text{ kgm} > M_u = 12811,01 \text{ kg m} \dots\dots\dots \text{OK!!!}$$

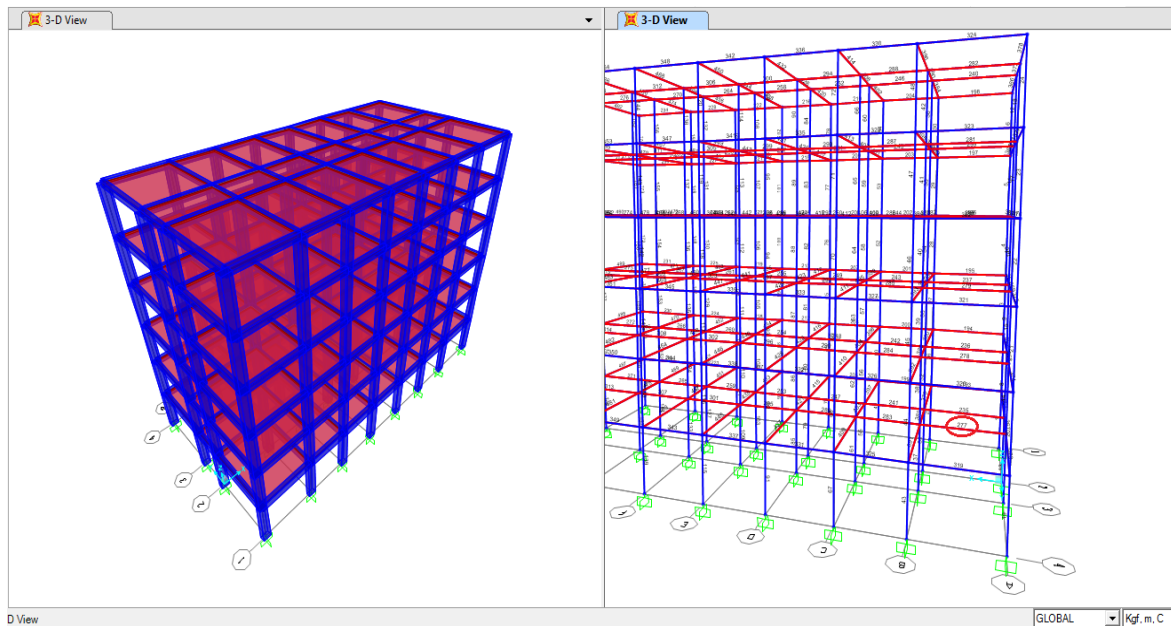
4.4.2 Penulangan Geser Balok

Berikut adalah hasil analisis struktur balok Gedung Kuliah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya dengan menggunakan software SAP2000 v15. Untuk tabel yang lebih lengkap, akan ditampilkan pada lampiran. Dari tabel tersebut, maka didapatkan momen geser maksimum untuk balok B1 terjadi pada balok nomor 277 (lihat kolom V2) dengan 29951,18 kg dan momen geser maksimum untuk balok B2 terjadi pada balok nomor 237 (lihat kolom V2) dengan 21969,57 kg.

Geser Pada Balok 1

Tabel 4.5 Hasil Output Analisis Geser Struktur Balok 1

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
277	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	2785.5	29951.18	47.72	127.38	136.6	12743.88
235	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	2785.55	29945.58	52.82	-119.27	107.19	12769.78
283	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1998.01	29933.53	64.07	5.52	133.41	22036.98
241	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1999.05	29916.13	61.38	1.52	127.84	22079.23
247	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1299.93	29780.58	63.77	2.28	128.41	22656.03
289	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1296.68	29780.23	66.85	3.09	137.05	22644.96
253	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	846.34	29776.57	63.96	2.85	128.41	22695.81
295	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	843.13	29775.72	68.47	2.86	137.16	22687.15
259	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1301.13	29768.05	63.26	2.82	128.26	22689.82
301	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1299.25	29767.19	67.93	2.39	134.27	22681.48
355	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	3389.43	29743.5	69.81	179.47	167.19	14527.81
229	5	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	3391.78	29736.45	60.3	-159.58	179.61	14530.58
265	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1999.73	29718.74	62.34	3.29	123.98	22806.32
307	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1998.68	29717.99	64.79	1.68	130.29	22798.42
325	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	2647.93	29067.34	84.59	-0.76	171.69	19505.41
199	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	2651.38	29017.62	84.01	7.6	169.35	19584.73
343	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1507.49	28740.09	86.95	3.41	171.06	20576.38
331	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1502.35	28736.49	85.68	3.73	174.91	20553.41
337	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	568.8	28734.22	87.59	3.73	175.42	20601.29
217	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1514.93	28731.05	84.48	3.39	170.98	20579.21
205	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1514.93	28731.05	84.48	3.39	170.98	20579.21



Gambar 4.16 Pemodelan analisis geser struktur balok

Sumber : Hasil Analisis SAP200 v15

kebutuhan tulangan geser :

$$V_n > V_c$$

$$V_u \text{ maksimum} = 29951,18 \text{ kg}$$

Pemeriksaan kebutuhan tulangan geser

Syarat

Didapat :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \times \sqrt{29,05} \cdot x400 \times 550 = 197626,19 \text{ N} = 19762,26 \text{ kg}$$

$$\phi = 0,6 \text{ (Faktor reduksi untuk geser)}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{29951,18}{0,6} = 49918,63 \text{ kg}$$

$$V_n = 49918,63 \text{ kg} > V_c = 19762,26 \text{ kg} \rightarrow \text{Perlu Tulangan Geser}$$

$$V_s = V_n - V_c = 49918,63 - 19762,26$$

$$= 30156,37 \text{ kg}$$

Sengkang yang digunakan sengkang dengan $\phi 10$ dengan jumlah batang 3 ($2,26 \text{ cm}^2$)

dan ditentukan $s = 10 \text{ cm}$

$$V_{sa} = (A_v \cdot f_y \cdot d) / s$$

$$= (2,36 \times 2400 \times 55,0) / 10$$

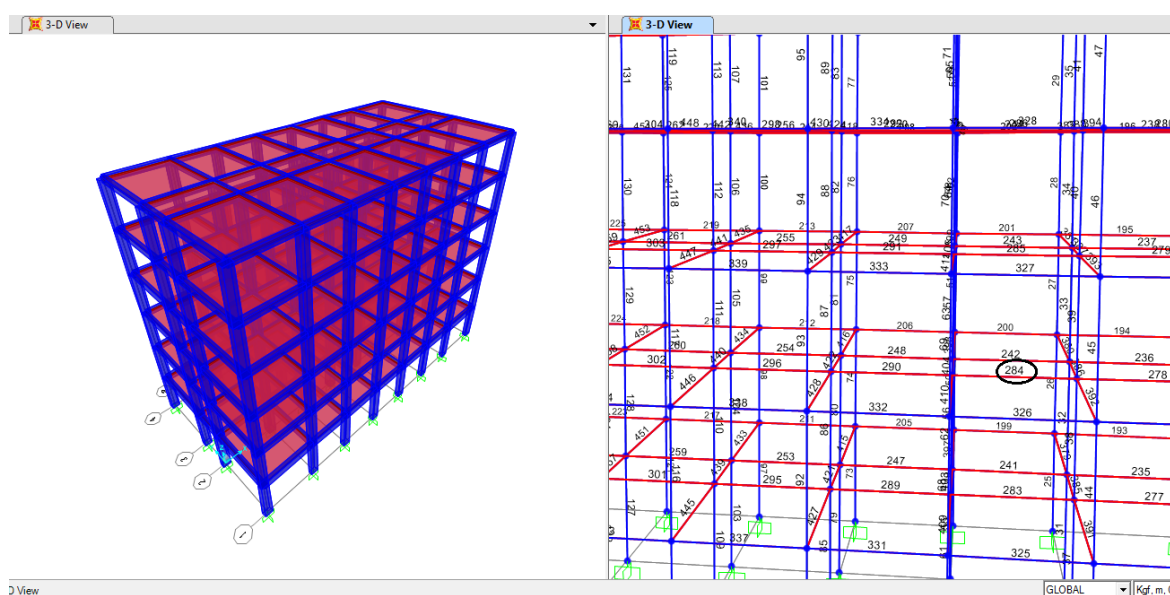
$$= 30307,2 \text{ kg} > V_s = 30156,37 \text{ kg} \dots \dots \dots \text{OK!!}$$

Maka digunakan sengkang $\phi 10$ -100.

Geser Pada Balok 2

Tabel 4.6 Hasil Output Analisis Geser Struktur Balok 2

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
451	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1228.57	22090.43	156.27	103.18	468.21	-22596.59
415	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1219.87	22079	157.73	109.2	479.63	-22620.35
433	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1220.45	22078.38	158.3	110.33	477.88	-22617.5
415	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	1211.31	22069.43	-158.21	-110	-478.18	-22647.75
433	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	1211.71	22068.44	-157.63	-108.87	-479.92	-22645.96
397	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	1209.62	22063.11	-155.86	-102.96	-469.38	-22685.66
451	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	1210.28	22061.17	-154.58	-111.92	-473.45	-22680.99
379	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	1186.03	22048.56	-149.78	-167.46	-444.24	-22746.94
469	6	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	1185.7	22046.71	-145.53	-63.97	-456.75	-22740.66
284	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	836.47	21969.57	46.38	-0.59	100.34	18584.48
242	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	842.08	21945.68	52.66	5.82	107.56	18634.59
343	3	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1507.49	21828.09	86.95	3.41	85.1	16032.2
331	3	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1502.35	21824.49	85.68	3.73	87.68	16005.94
337	3	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	568.8	21822.22	87.59	3.73	87.66	16058.54
217	3	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1514.93	21819.05	84.48	3.39	85.08	16033.6
205	3	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1514.02	21814.48	85.57	2.89	86.49	16012.95
211	3	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	578.6	21813.2	86.12	3.69	86.5	16060.36
285	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1049.94	21583.16	115.58	-0.13	236.41	16770.18
243	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	1048.3	21542.47	126.26	7.59	254.38	16845.96
290	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	577.95	21468.21	47.03	1.98	96.46	19803.71
348	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	567.98	21467.18	53.38	2.14	105.41	19813.23



Gambar 4.17 Pemodelan analisis geser struktur balok

Sumber : Hasil Analisis SAP200 v15

$$V_u \text{ maksimum} = 21969,57 \text{ kg}$$

Pemeriksaan kebutuhan tulangan geser

Syarat kebutuhan tulangan geser :

$$V_n > V_c$$

Didapat :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \times \sqrt{29,05} \cdot 300 \times 450 = 121270,617 N = 12127,06 kg$$

$\phi = 0,6$ (Faktor reduksi untuk geser)

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{21969,57}{0,6} = 36615,95 kg$$

$V_n = 36615,95 kg > V_c = 12127,06 kg \rightarrow$ Perlu Tulangan Geser

$$V_s = V_n - V_c = 36615,95 - 12127,06$$

$$= 24488,89 kg$$

Sengkang yang digunakan sengkang dengan $\phi 10$ dengan jumlah batang 2 ($2,36 cm^2$) dan ditentukan $s = 10 cm$

$$V_{sa} = (A_v \cdot f_y \cdot d) / s$$

$$= (2,26 \times 2400 \times 45,0) / 10$$

$$= 25488 kg > V_s = 24488,89 kg \dots \dots \dots OK!!$$

Maka digunakan sengkang $\phi 10-100$.

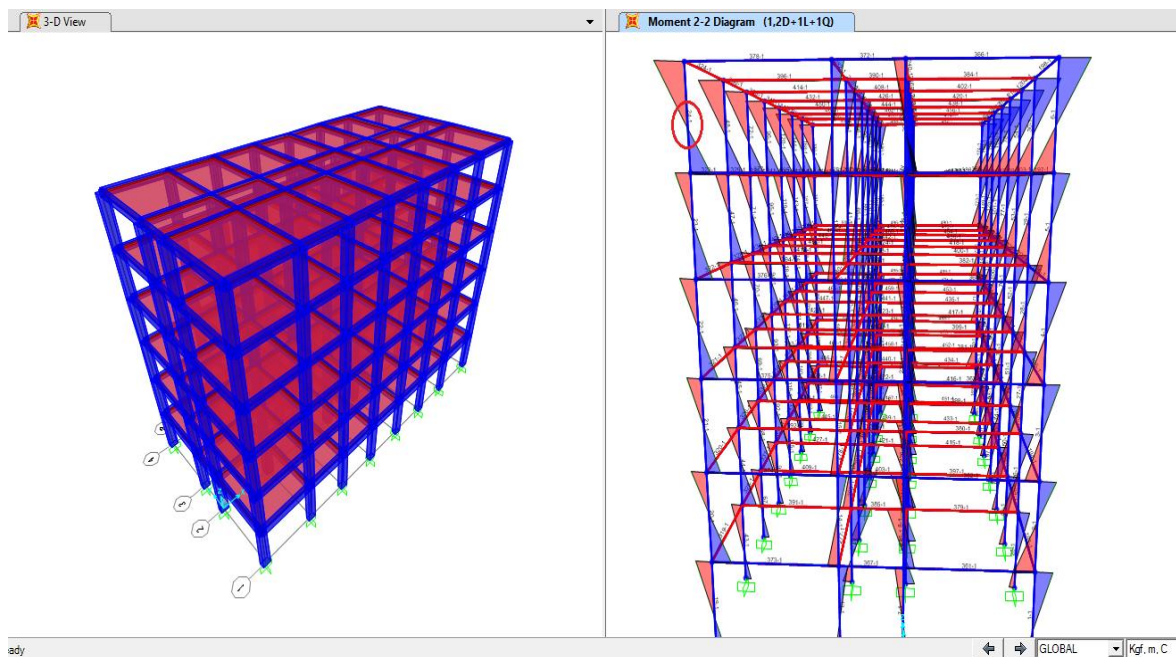
Karena dalam sistem struktur yang digunakan adalah analisis portal maka tidak terdapat puntir/torsi yang terjadi pada balok. Maka analisis torsi tidak dihitung.

4.5 Perencanaan Dan Analisis Kekuatan Kolom

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom Gedung Kuliah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya dengan menggunakan software SAP2000 v15. Untuk tabel yang lebih lengkap, akan ditampilkan pada lampiran. Dari tabel tersebut, maka didapatkan gaya geser maksimum yang terjadi pada kolom nomor 24 (lihat kolom V2) dengan M_a terjadi sebesar -12422 kgm dan M_b sebesar 8785,12 kgm

Tabel 4.7 Hasil Output Analisis Struktur Kolom

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
24	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-66319.08	-6341.65	5256.03	-82.23	-12694.48	6913.28
192	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-61757.48	4252.9	5237.74	-78.06	-12618.03	-18798.98
24	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-61456.58	-4222.69	5375.43	77.02	-12422	19218.5
192	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-57099.69	6214.66	5341.94	80.6	-12392.7	-7010.45
168	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-90833.75	-3866.34	5162.65	-37.04	-12237.11	-11556.53
48	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-94852.49	-3790.76	5173.14	-44.82	-12234.59	-11886
48	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-93424.54	3940.29	5182.62	29.84	-12206.73	11774.89
168	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-89179.62	3740.45	5176.71	37.52	-12196.87	11715.21
72	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-85301.32	-3358.11	5104.71	-47.85	-12086.44	-14799.44
144	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-85128.02	-5215.12	5098.18	-40.18	-12072.87	-10755.97
72	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-84838.37	5291.08	5111.35	32.62	-12065.79	10557.53
144	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-84696.8	3438.99	5105.15	40.37	-12051.17	14618.78
96	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-84002.28	-4408.99	5089.19	-42.68	-12040.32	-13244.53
120	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Min	-84006.2	-4607.69	5088.02	-40.64	-12037.52	-12887.03
96	4	1,2D+1L+1Q	Combination	Max	-83977.17	4587.05	5091.26	37.88	-12033.44	12940.76



Gambar 4.18 Pemodelan analisis struktur kolom

Sumber : Hasil Analisis SAP200 v15

Jadi dari analisis pembebanan diatas dapat diambil gaya dalam maksimum untuk dijadikan sebagai gaya maksimum yang akan di pikul oleh kolom dalam perencanaan :

Data kolom:

b = 45 cm

h = 70 cm

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d = 66 \text{ cm}$$

$$L = 400 \text{ cm}$$

$$P_u = 61456,58 \text{ kg}$$

$$M_A = 12422 \text{ kgm}$$

$$M_B = 8785,12 \text{ kgm}$$

$$M_B (\text{beban mati}) = 721,78 \text{ kgm}$$

Data balok:

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$d' = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = 57,5 \text{ cm}$$

$$L = 400 \text{ cm}$$

$$M_D = 1529,88 \text{ kgm}$$

$$M_L = 239,19 \text{ kgm}$$

$$V_u = 20878,97 \text{ kg}$$

$$f'_c = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{29,05} \\ &= 25332 \text{ Mpa} \\ &= 253320 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kolom 1 (k1)

- Menghitung kekakuan kolom

$$\begin{aligned} I_{g_{kolom}} &= \frac{1}{12} b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 45 \times 70^3 \\ &= 1286250 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_D &= \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}} \\ &= \frac{1.4 \times 721,78}{8785,12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1010,492}{8785,12} \\
&= 0.115 < 1
\end{aligned}$$

$$EI_{kolom} = \frac{\frac{Ec \times Ig}{2.5}}{1 + \beta_D} = \frac{\frac{253320 \times 1286250}{2.5}}{1 + 0.115} = 116688823741 \text{ kgcm}^2$$

- Menghitung kekakuan balok

$$\begin{aligned}
Ig_{balok} &= \frac{1}{12} b \times h^3 \\
&= \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \\
&= 720000 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

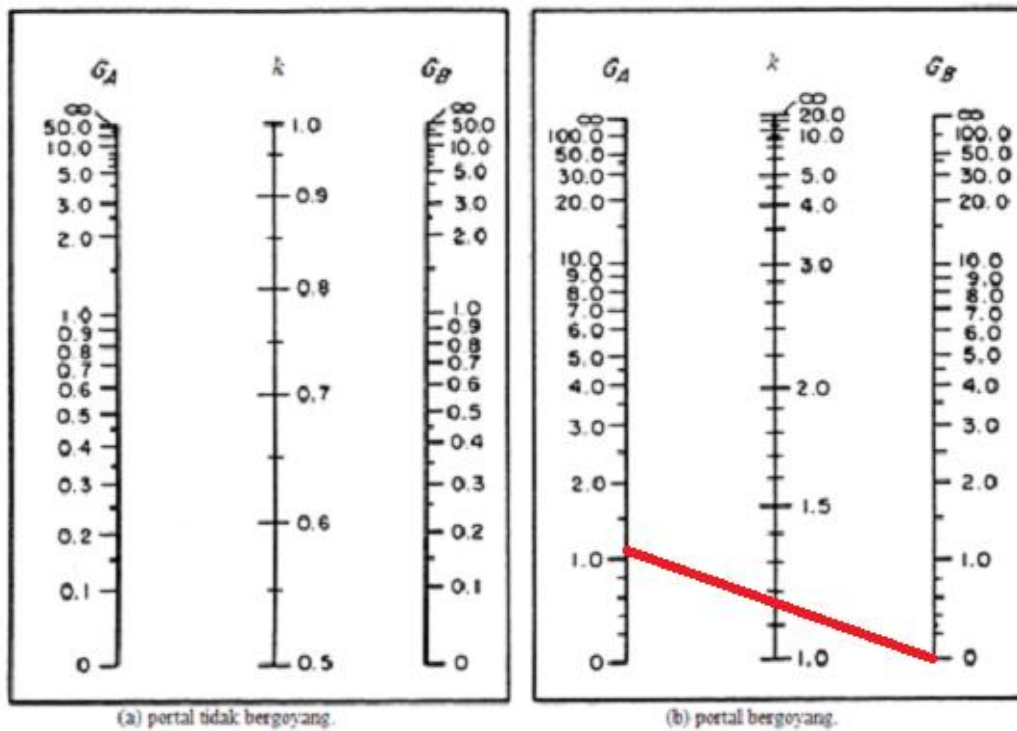
$$\begin{aligned}
\beta_D &= \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}} \\
&= \frac{1.4 \times 1529,88}{1.2 (1529,88) + 1.6(239,19)} \\
&= \frac{2141,83}{38872218,56} \\
&= 0.965 < 1
\end{aligned}$$

$$EI_{balok} = \frac{\frac{Ec \times Ig}{2.5}}{1 + \beta_D} = \frac{\frac{253320,8 \times 720000}{2.5}}{1 + 0,965} = 72956390400,97 \text{ kgcm}^2$$

- Perhitungan G

$$\begin{aligned}
G_{atas} &= \frac{\sum \frac{EI}{Lk}}{\sum \frac{EI}{Lb}} = \frac{\frac{1166888283741}{400}}{\frac{72956390400,97}{600} + \frac{72956390400,97}{500}} \\
&= \frac{291703536,3}{267506764,8} \\
&= 1,09
\end{aligned}$$

$$G_{bawah} = 0 \text{ (Jepit)}$$



Gambar 4.19 Tabel nomogram kekakuan

Berdasarkan nomogram faktor panjang efektif, diperoleh $k = 1,2$

- Cek kelangsingan kolom

$$\begin{aligned}
 kL_u &= k \cdot L_k \\
 &= 1,2 \times 400 \\
 &= 480 \text{ cm} \\
 r &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 70 \\
 &= 21 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{kL_u}{r} = \frac{480}{21} = 22,857$$

$22,857 > 22 \rightarrow$ kolom langsing (pengaruh kelangsingan diabaikan)

- Pembesaran Momen

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI k}{(kL_u)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 116688823741}{(480)^2}$$

$$P_c = 5002047,406 \text{ kg}$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{Pu}{0,65 \times Pc}}$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{61456,58}{0,65 \times 5002047,406}}$$

$$\delta s = 0.98 < 1 \rightarrow \text{(tidak ada pembesaran momen)}$$

$$Mc = \delta s \times Mu$$

$$Mc = 1 \times 12694,48$$

$$Mc = 12694,48 \text{ kgm}$$

- Penulangan kolom

$$\text{Rasio Tulangan} : Ast = 1\%$$

Karena asumsi pembebanan sentris, serta adanya momen dan gaya aksial yang dominan, maka tulangan kolom \rightarrow 2 sisi

$$As = As' = 1\%$$

$$As = As' = 0,01 \times 45 \times 66 = 29,7 \text{ cm}^2$$

Dicoba 2 sisi utama:

$$\text{Tulangan tarik} = 8\text{-D22} \rightarrow As = 31,0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 8\text{-D22} \rightarrow As = 31,0 \text{ cm}^2$$

Untuk 2 sisi lainnya, ditentukan tulangan bagi sebesar 50% dari tulangan utama
Maka ditentukan tulangan 4-D22 untuk sisi panjang.

- Cek keadaan imbang

$$\epsilon_y = \frac{fy}{E} = \frac{4000}{2 \times 10^6} = 0.002$$

$$Cb = \frac{\epsilon_c \times d}{\epsilon_c + \epsilon_y} = \frac{0.003 \times 660}{0.003 + 0.002} = 39,6 \text{ cm}$$

$$\epsilon'_s = \frac{\epsilon_c (Cb - d')}{Cb} = \frac{0.003 (39,6 - 4)}{39,06} = 0.002734$$

$$\epsilon_y < \epsilon'_s \rightarrow \text{tulangan tekan sudah meleleh}$$

$$fs' = fy = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$ab = 0.85 \times cb$$

$$= 0.85 \times 39,6$$

$$= 33,66 \text{ cm}$$

$$Pn_b = 0.85 \times f'_c \times ab \times b$$

$$= 0.85 \times 290,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 33,66 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$$

$$= 374017,297 \text{ kg}$$

$$\phi Pn_b = 0.65 \times 374017,297 = 224410,378 \text{ kg} > Pu = 61456,58 \text{ kg} \rightarrow OK!$$

- Cek penampang kolom

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{12694,48}{61456,58} = 0,002 \text{ cm}$$

$$e' = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 0,002 + \left(66 - \frac{70}{2}\right) = 31,002 \text{ cm}$$

$$1 - \frac{e'}{d} = 1 - \frac{31,002}{66} = 0,469$$

$$1 - \frac{d'}{d} = 1 - \frac{4}{66} = 0,93$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{4000}{0.85 \times 290,5} = 16,199$$

$$\rho = \rho' = \frac{As}{b \times d} = \frac{31,0}{45 \times 66} = 0.0104$$

$$Pn = 0.85 \times f'_c \times b \times d \left[\left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2 \times m \times \rho \left(1 - \frac{d'}{d}\right)} \right]$$

$$= 0.85 \times 290,5 \times 45 \times 66 \left[0,469 + \sqrt{0,469^2 + 2 \times 16,199 \times 0.0104 (0.93)} \right]$$

$$= 879515,476 \text{ kg}$$

$$\phi Pn = 0.65 \times 879515,476 = 571685,05 \text{ kg} > Pu = 66319,08 \text{ kg} \rightarrow OK!$$

Kolom 2 (k2)

- Menghitung kekakuan kolom

$$I_{g_{kolom}} = \frac{1}{12} b \times h^3$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{12} \times 70 \times 70^3 \\
&= 2000833 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\beta_D &= \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}} \\
&= \frac{1.4 \times 721,78}{8785,12} \\
&= \frac{1010,492}{8785,12} \\
&= 0.115 < 1
\end{aligned}$$

$$EI_{kolom} = \frac{\frac{Ec \times Ig}{2.5}}{1 + \beta_D} = \frac{\frac{253320 \times 2000833}{2.5}}{1 + 0.115} = 202740406224 \text{ kgcm}^2$$

- Menghitung kekakuan balok

$$\begin{aligned}
Ig_{balok} &= \frac{1}{12} b \times h^3 \\
&= \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \\
&= 720000 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\beta_D &= \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}} \\
&= \frac{1.4 \times 1529,88}{1.2 (1529,88) + 1.6(239,19)} \\
&= \frac{2141,83}{38872218,56} \\
&= 0.965 < 1
\end{aligned}$$

$$EI_{balok} = \frac{\frac{Ec \times Ig}{2.5}}{1 + \beta_D} = \frac{\frac{253320,8 \times 720000}{2.5}}{1 + 0,965} = 72956390400,97 \text{ kgcm}^2$$

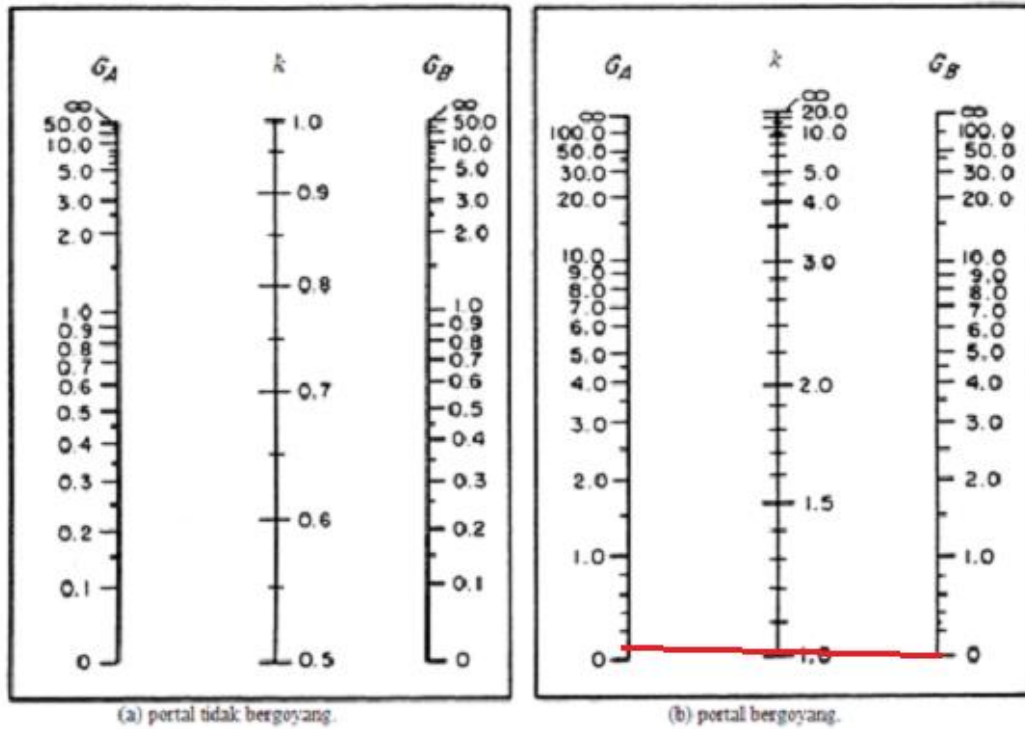
- Perhitungan G

$$G_{atas} = \frac{\sum \frac{EI}{Lk}}{\sum \frac{EI}{Lb}} = \frac{\frac{202740406224}{400}}{\frac{72956390400,97}{600} + \frac{72956390400,97}{500}}$$

$$= \frac{506851015.6}{26750676480}$$

$$= 0,02$$

$$G_{bawah} = 0 \text{ (Jepit)}$$



Gambar 4.19 Tabel nomogram kekakuan

Berdasarkan nomogram faktor panjang efektif, diperoleh $k = 1$

- Cek kelangsingan kolom

$$kL_u = k \cdot L_k$$

$$= 1 \times 400$$

$$= 400 \text{ cm}$$

$$r = 0.3 \times h$$

$$= 0.3 \times 70$$

$$= 21 \text{ cm}$$

$$\frac{kL_u}{r} = \frac{400}{21} = 22,857$$

$$22,857 > 22 \rightarrow \text{kolom pendek}$$

- Pembesaran Momen

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI k}{(kLu)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 202740406224}{(700)^2}$$

$$P_c = 4079467,978 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{0,65 \times P_c}}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{61456,58}{0,65 \times 4079467,978}}$$

$$\delta_s = 1,023 > 1 \rightarrow (\text{ada pembesaran momen})$$

$$M_c = \delta_s \times M_u$$

$$M_c = 1.023 \times 12694,48$$

$$M_c = 2986,453 \text{ kgm}$$

- Penulangan kolom

$$\text{Rasio Tulangan} : A_{st} = 1\%$$

Karena asumsi pembebanan sentris, serta adanya momen dan gaya aksial yang dominan, maka tulangan kolom \rightarrow 2 sisi

$$A_s = A_{s'} = 1\%$$

$$A_s = A_{s'} = 0,01 \times 70 \times 70 = 49 \text{ cm}^2$$

Dicoba 2 sisi utama:

$$\text{Tulangan tarik} = 10\text{-D25} \rightarrow A_s = 50,70 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 10\text{-D25} \rightarrow A_s = 50,70 \text{ cm}^2$$

Untuk 2 sisi lainnya, ditentukan tulangan bagi sebesar 50% dari tulangan utama

Maka ditentukan tulangan 5-D25 untuk sisi panjang.

- Cek keadaan imbang

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E} = \frac{4000}{2 \times 10^6} = 0.002$$

$$Cb = \frac{\epsilon_c \times d}{\epsilon_c + \epsilon_y} = \frac{0.003 \times 660}{0.003 + 0.002} = 39,6 \text{ cm}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{\varepsilon_c(Cb - d')}{Cb} = \frac{0.003(39,6 - 4)}{39,06} = 0.002734$$

$\varepsilon_y < \varepsilon'_s \rightarrow$ tulangan tekan sudah meleleh

$$f_s' = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$ab = 0.85 \times cb$$

$$= 0.85 \times 39,6$$

$$= 33,66 \text{ cm}$$

$$Pn_b = 0.85 \times f'_c \times ab \times b$$

$$= 0.85 \times 290,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 33,66 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$$

$$= 581804.685 \text{ kg}$$

$$\phi Pn_b = 0.65 \times 581804.685 = 378173.0453 \text{ kg} > Pu = 61456,58 \text{ kg} \rightarrow OK!$$

- Cek penampang kolom

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{2986,453}{61456,58} = 0,048 \text{ cm}$$

$$e' = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 0,048 + \left(66 - \frac{70}{2}\right) = 31,048 \text{ cm}$$

$$1 - \frac{e'}{d} = 1 - \frac{31,048}{66} = 0,529$$

$$1 - \frac{d'}{d} = 1 - \frac{4}{66} = 0,93$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{4000}{0.85 \times 290,5} = 16,199$$

$$\rho = \rho' = \frac{As}{b \times d} = \frac{50,7}{70 \times 66} = 0.109$$

$$\begin{aligned} Pn &= 0.85 \times f'_c \times b \times d \left[\left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2 \times m \times \rho \left(1 - \frac{d'}{d}\right)} \right] \\ &= 0.85 \times 290,5 \times 70 \times 70 \left[0,529 + \sqrt{0,529^2 + 2 \times 16,199 \times 0.109 (0.93)} \right] \\ &= 2775272,122 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi Pn = 0.65 \times 2775272,122 = 1803926.879 \text{ kg} > Pu = 66319,08 \text{ kg} \rightarrow OK!$$

- Tulangan Geser

$$V_u = 5375,43 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{29,05} \times 450 \times 660$$

$$V_c = 266795,357 \text{ N} = 26679,535 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{5375,43}{0,6} = 8959,13 \text{ kg} < V_c = 26679,535 \text{ kg} \rightarrow \text{tulangan geser praktis}$$

Digunakan sengkang lateral $\phi 8-200$

4.6 Pelaksanaan dan Perhitungan Balok Pracetak

Dari perencanaan awal balok dan kolom serta analisis kekuatannya, maka balok induk B1 direncanakan memiliki dimensi 400x600 mm. Dalam pelaksanaannya, dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

1. Tahap sebelum cor penuh, dengan dimensi balok pracetak 400x400 mm
2. Tahap setelah cor penuh, dengan dimensi balok sesuai perencanaan awal, yaitu 400x600 mm

Untuk balok induk B2 direncanakan memiliki dimensi 300x500 mm. Dalam pelaksanaannya, dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

1. Tahap sebelum cor penuh, dengan dimensi balok pracetak 300x300 mm
2. Tahap setelah cor penuh, dengan dimensi balok sesuai perencanaan awal, yaitu 300x500 mm

4.6.1 Balok pracetak sebelum cor penuh

4.6.1.1 Balok pracetak sebelum cor penuh (B1 bentang 6 meter)

Saat pemasangan elemen pracetak ini, balok pracetak sebelum cor penuh mengalami kondisi pembebanan sebagai berikut :

1. Berat sendiri balok pracetak, termasuk beton tuang di atasnya (topping)
2. Beban akibat pelat pracetak yang menumpu pada balok, termasuk beton tuang di atasnya (topping)

Balok di modelkan menumpu pada kedua ujung bentang kolom, beban yang bekerja pada balok induk bentang 6 meter

1. Berat balok (berat sendiri)

$$q_{bi} = 2,4 \times 0,4 \times 0,6 = 0,576 \text{ t/m}$$

2. Berat pelat pracetak dan berat diatasnya

$$Q_{pelat} = 0,9 \times 2,4 \times 0,12 \times 0,5 \times 6 = 0,777 \text{ t/m} +$$

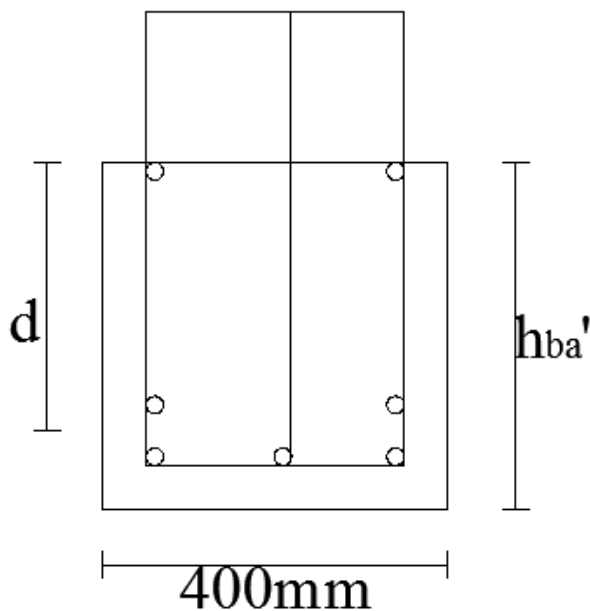
$$q_d = 1,354 \text{ t/m}$$

Momen maksimal yang terjadi pada balok induk saat pemasangan dengan bentang

$L = 6$ meter

$$\begin{aligned} M_{max} &= 1/8 \times q_d \times L^2 \\ &= 1/8 \times 1,354 \times 6^2 \\ &= 6,0912 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_{max} = 60912000 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.20 Gambar balok B1 tampak samping sebelum cor penuh

Sumber : Gambar AutoCAD

Di gunakan tulangan lentur balok induk

5 – D19 maka menggunakan $A_{stot} = 1430 \text{ mm}^2$

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = f'_c \times 0,5 \times b \times y$$

$$1430 \times 400 = 29,05 \times 0,5 \times 400 \times y$$

$$\text{Jadi nilai } y = 98,451 \text{ mm}$$

$M_n = T \times (d - y/2)$, untuk mendapatkan nilai d (tebal efektif minimum)

$$60912000 = 572000 \times \left(d - \frac{98,451}{2}\right)$$

maka didapat nilai $d_{min} = 155,714 \text{ mm}$

$$h_{ba}' = h_{ba} - h_{pelat} = 600 - (120+80) = 400 \text{ mm}$$

cek tebal efektif balok induk:

$$d = h'_{pra} - \bar{y}$$

$$d = 400 - \left(\frac{((3 \times 2,865) \times 69,5) + ((2 \times 2,865) \times 109,5)}{5 \times 2,865} \right) = 314,5 \text{ mm} > d_{min} = 155,714 \text{ mm} \dots \text{OK!}$$

Analisis dan desain penampang balok induk pracetak dengan dimensi 400x400 mm

Asumsi tulangan lentur balok 5D-19 maka menggunakan $A_{stot} = 1430 \text{ mm}^2$

Tulangan tekan minimal 20% dari tulangan utama, didapatkan 2D-19, fungsi tulangan tekan atas ini untuk mengantisipasi terjadinya tarik pada serat atas.

Kapasitas momen penampang (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= T \times (d - y/2) \\ &= 572000 \times \left(314,5 - \frac{98,451}{2} \right) \\ &= 151737029 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = 151737029 \text{ Nmm} > M_{max} = 60912000 \text{ Nmm} \dots \text{OK!}$$

Cek lendutan (mm)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5xqdxL^4}{384xEI} \\ &= \frac{5 \times 13,54 \times 6000^4}{384 \times 25332 \times \frac{1}{12} \times 400 \times 400^3} = 4,226 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{ijin} &= L/240 \\ &= 6000/240 \\ &= 25,00 \text{ mm} > \delta \dots \text{OK!} \end{aligned}$$

Analisis Tegangan Penampang

Dalam menganalisis balok pracetak ini menggunakan analisis elastis dengan kuat rencana yang ditentukan dari tegangan ijin bahan menurut SON, D. F., & HERMAN, H. (2008:6) yaitu : $f_{cijin} = 0,33 f'_c$ dan $f_{sijin} = 0,58 f_y$

Nilai tegangan ijin :

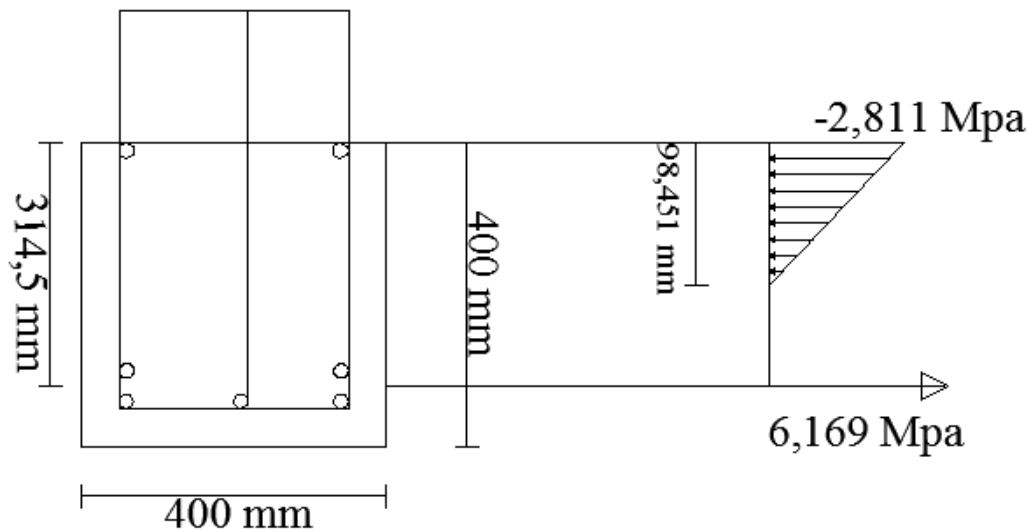
$$f_{cijin} = 0,33 \times f'_c = 0,33 \times 29,05 = 9,587 \text{ MPa}$$

$$f_{sijin} = 0,58 \times f_y = 0,58 \times 400 = 232 \text{ MPa}$$

Balok induk sebelum cor penuh

$$\begin{aligned} \sigma &= \pm M_u \times \frac{y}{I_{pracetak}} \\ \sigma_c &= - \frac{60912000 \times 98,451}{\frac{1}{12} \times 400 \times 400^3} = -2,811 \text{ MPa} < f_{cijin} \dots \text{OK!} \end{aligned}$$

$$\sigma_s = \frac{60912000(314,5 - 98,451)}{\frac{1}{12} \times 400 \times 400^3} = 6,168 \text{ MPa} < f_{sijin} \dots \text{OK!}$$



Gambar 4.21 Gambar diagram tegangan sebelum cor penuh
Sumber : Gambar AutoCAD

4.6.1.2 Balok pracetak sebelum cor penuh (B2 bentang 6 meter)

Saat pemasangan elemen pracetak ini, balok pracetak sebelum cor penuh mengalami kondisi pembebanan sebagai berikut :

1. Berat sendiri balok pracetak, termasuk beton tuang di atasnya (topping)
2. Beban akibat pelat pracetak yang menumpu pada balok, termasuk beton tuang di atasnya (topping)

Balok dimodelkan menumpu pada kedua ujung bentang kolom, beban yang bekerja pada balok induk bentang 6 meter

1. Berat balok (berat sendiri)

$$q_{bi} = 2,4 \times 0,3 \times 0,5 = 0,36 \text{ t/m}$$

2. Berat pelat pracetak dan berat di atasnya

$$Q_{pelat} = 0,9 \times 2,4 \times 0,12 \times 0,5 \times 6 = 0,777 \text{ t/m} +$$

$$q_d = 1,137 \text{ t/m}$$

Momen maksimal yang terjadi pada balok induk saat pemasangan dengan bentang

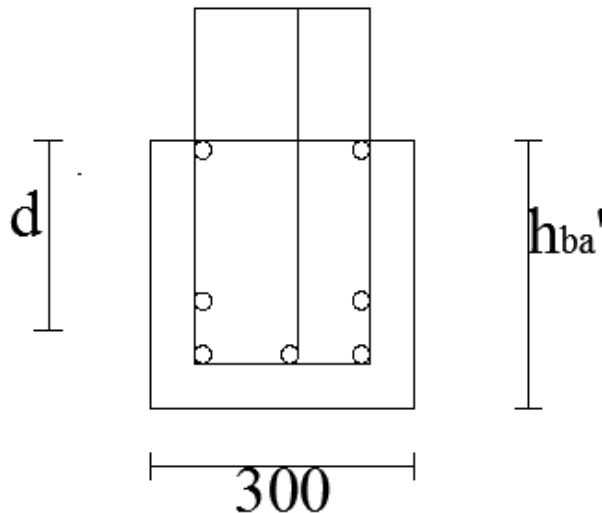
$L = 6 \text{ meter}$

$$M_{max} = 1/8 \times q_d \times L^2$$

$$= 1/8 \times 1,137 \times 6^2$$

$$= 5,199 \text{ tm}$$

$$M_u = 51990000 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.22 Gambar balok B2 tampak samping sebelum cor penuh
Sumber : Gambar AutoCAD

Di gunakan tulangan lentur balok induk

5– D19 maka menggunakan $A_{stot} = 1430 \text{ mm}^2$

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = f'_c \times 0,5 \times b \times y$$

$$1430 \times 400 = 29,05 \times 0,5 \times 300 \times y$$

$$\text{Jadi nilai } y = 131,268 \text{ mm}$$

$$M_n = T \times$$

$(d - y/2)$, untuk mendapatkan nilai d (tebal efektif minimum)

$$51190000 = 572000 \times \left(d - \frac{131,268}{2} \right)$$

maka didapan nilai $d_{min} = 155,130 \text{ mm}$

$$h_{ba'} = h_{ba} - h_{pelat} = 500 - (120+80) = 300 \text{ mm}$$

cek tebal efektif balok induk:

$$d = h'_{pra} - \bar{y}$$

$$d = 300 - \left(\frac{(3 \times 2,865) \times 69,5 + ((2 \times 2,865) \times 109,5)}{5 \times 2,865} \right) = 214,5 \text{ mm} > d_{min} = 155,130. \text{ . OK!}$$

Analisis dan desain penampang balok induk pracetak dengan dimensi 300x300 mm

Asumsi tulangan lentur balok 6D – 19 maka menggunakan $A_{stot} = 1430 \text{ mm}^2$

Tulangan tekan minimal 20% dari tulangan utama, didapatkan 2D-19, fungsi tulangan tekan atas ini untuk mengantisipasi terjadinya tarik pada serat atas.

Kapasitas momen penampang (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= T_x(d - y/2) \\ &= 572000 \times (214,5 - \frac{131,268}{2}) \\ &= 85151372,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_n = 85151372,3 \text{ Nmm} > M_u = 51990000 \text{ Nmm}$. . . OK!

Cek lendutan (mm)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5xqdxL^4}{384xEI} \\ &= \frac{5 \times 11,376 \times 6000^4}{384 \times 25332 \times \frac{1}{12} \times 300 \times 300^3} = 11,226 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{ijin} &= L/240 \\ &= 6000/240 \\ &= 25 \text{ mm} > \delta \text{ . . . OK!} \end{aligned}$$

Analisis Tegangan Penampang

Dalam menganalisis balok pracetak ini menggunakan analisis elastis dengan kuat rencana yang ditentukan dari tegangan ijin bahan menurut SON, D. F., & HERMAN, H. (2008:6) yaitu : $f_{cijin} = 0,33 f'_c$ dan $f_{sijin} = 0,58 f_y$

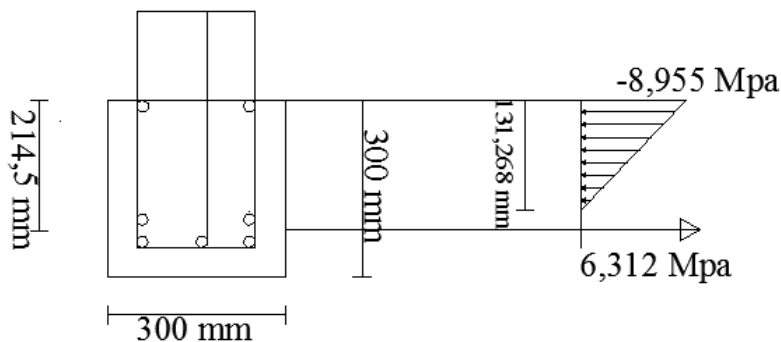
Nilai tegangan ijin :

$$f_{cijin} = 0,33 \times f'_c = 0,33 \times 29,05 = 9,587 \text{ MPa}$$

$$f_{sijin} = 0,58 \times f_y = 0,58 \times 400 = 232 \text{ MPa}$$

Balok induk sebelum cor penuh

$$\begin{aligned} \sigma &= \pm M_u \times \frac{y}{I_{pracetak}} \\ \sigma_c &= - \frac{51990000 \times 131,268}{\frac{1}{12} \times 300 \times 300^3} = -8,955 \text{ MPa} < f_{cijin} \text{ . . . OK!} \\ \sigma_s &= \frac{51990000 (214,5 - 131,268)}{\frac{1}{12} \times 300 \times 300^3} = 6,312 \text{ MPa} < f_{sijin} \text{ . . . OK!} \end{aligned}$$



Gambar 4.23 Gambar diagram tegangan sebelum cor penuh
Sumber : Gambar AutoCAD

4.6.2 Balok pracetak setelah cor penuh

4.6.2.1 Balok pracetak B1 setelah cor penuh

Menghitung tegangan pada tengah bentang

Momen yang terjadi pada tengah bentang (momen lapangan)

$$Mu = 17274,93 \text{ kgm} = 172749300 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 7200000000 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y dengan nilai $b = 400 \text{ mm}$, $A_s = 1430 \text{ mm}^2$, $d = 514,5 \text{ mm}$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times b \times y$$

$$1430 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 400 \times y$$

Di dapat nilai $y = 57,912 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$

Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (tengah bentang)

$$\sigma = \pm Mu \times \frac{y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{172749300 \times 57,912}{7200000000} = -1,389 \text{ MPa}$$

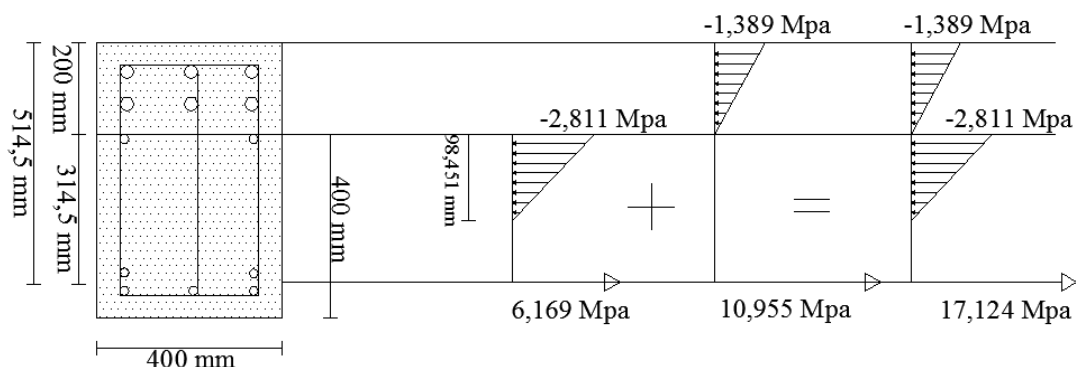
$$\sigma_s' = \frac{172749300 \times (514,5 - 57,912)}{7200000000} = 10,955 \text{ MPa}$$

Resultan Tegangan

$$f_{top} = -1,389 \text{ MPa} < f_{cijin} \dots \text{OK!}$$

$$f_A = \sigma_c = -2,811 \text{ MPa} < f_{cijin} \dots \text{OK!}$$

$$f_s = \sigma_s + \sigma_s' = 6,169 + 10,955 = 16,966 \text{ MPa} < f_{sijin} \dots \text{OK!}$$



Gambar 4.24 Gambar diagram tegangan setelah cor penuh (tengah bentang)

Sumber : Gambar AutoCAD

Menghitung tegangan pada ujung bentang

Momen yang terjadi pada ujung bentang (momen tumpuan)

$$Mu = 46067,86 \text{ kgm} = 460678600 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 7200000000 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y dengan nilai $b = 300 \text{ mm}$, $A_s = 3850 \text{ mm}^2$, $d' = 514,5 \text{ mm}$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times b \times y$$

$$3850 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 400 \times y$$

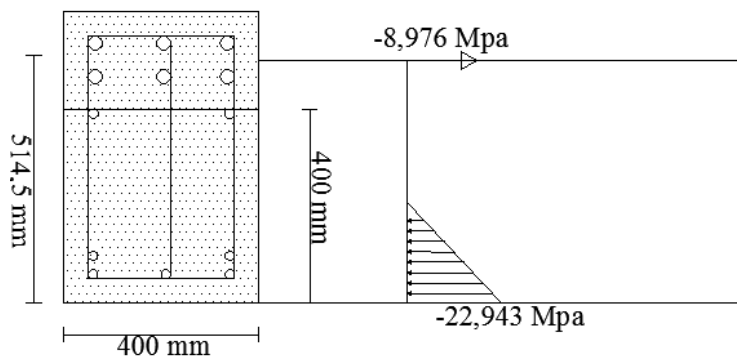
Jadi nilai $y = 155,918 \text{ mm}$

Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (ujung bentang)

$$\sigma = \pm Mu \times \frac{y}{I_{comp}}$$

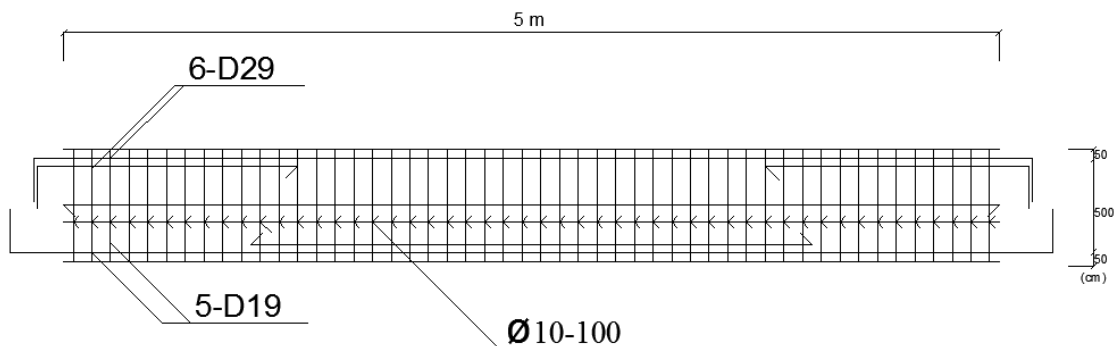
$$\sigma_c = - \frac{460678600 \times 155,918}{7200000000} = -8,976 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{460678600 \times (514,5 - 155,918)}{7200000000} = 22,943 \text{ Mpa}$$



Gambar 4.25 Gambar diagram tegangan setelah cor penuh (ujung bentang)

Sumber : Gambar AutoCAD



Gambar 4.26 Gambar detail balok B1

Sumber : Gambar AutoCAD

4.6.2.2 Balok pracetak B2 setelah cor penuh

Menghitung tegangan pada tengah bentang

Momen yang terjadi pada tengah bentang (momen lapangan)

$$M_u = 12811,01 \text{ kgm} = 128110100 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y dengan nilai $b = 300 \text{ mm}$, $A_s = 3040 \text{ mm}^2$, $d' = 414,5 \text{ mm}$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times b \times y$$

$$1430 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 300 \times y$$

Di dapat nilai $y = 77,126 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$

Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (tengah bentang)

$$\sigma = \pm M_u \times \frac{y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{128110100 \times 77,126}{3125000000} = -3,166 \text{ MPa}$$

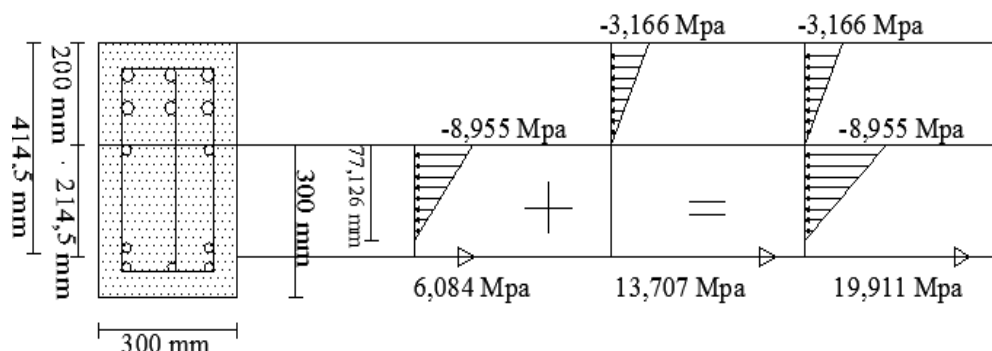
$$\sigma_s' = \frac{128110100 \times (414,5 - 77,126)}{3125000000} = 13,827 \text{ MPa}$$

Resultan Tegangan

$$f_{top} = -3,166 \text{ MPa} < f_{cijin} \dots \text{OK!}$$

$$f_A = \sigma_c = -8,955 \text{ MPa} < f_{cijin} \dots \text{OK!}$$

$$f_s = \sigma_s + \sigma_s' = 6,084 + 13,827 = 19,911 \text{ MPa} < f_{sijin} \dots \text{OK!}$$



Gambar 4.27 Gambar diagram tegangan setelah cor penuh (tengah bentang)

Sumber : Gambar AutoCAD

Menghitung tegangan pada ujung bentang

Momen yang terjadi pada ujung bentang (momen tumpuan)

$$M_u = 33500,58 \text{ kgm} = 335005800 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y dengan nilai $b = 300 \text{ mm}$, $A_s = 3040 \text{ mm}^2$, $d = 411,5 \text{ mm}$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times b \times y$$

$$3040 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 300 \times y$$

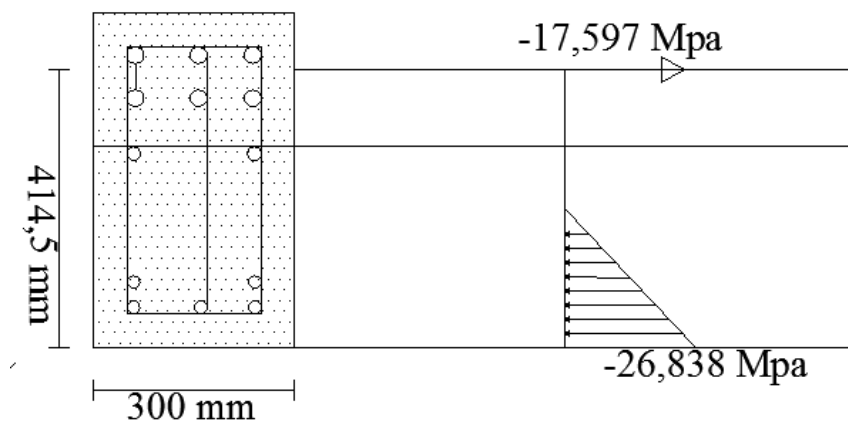
Jadi nilai $y = 164,152 \text{ mm}$

Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (ujung bentang)

$$\sigma = \pm M_u \times \frac{y}{I_{comp}}$$

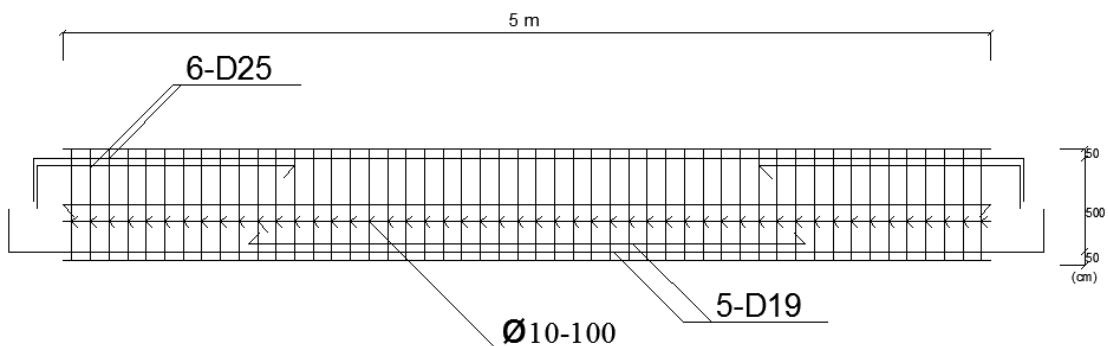
$$\sigma_c = - \frac{335005800 \times 119,674}{3125000000} = -17,597 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{335005800 \times (414,5 - 119,674)}{3125000000} = 26,838 \text{ MPa}$$



Gambar 4.28 Gambar diagram tegangan setelah cor penuh (ujung bentang)

Sumber : Gambar AutoCAD



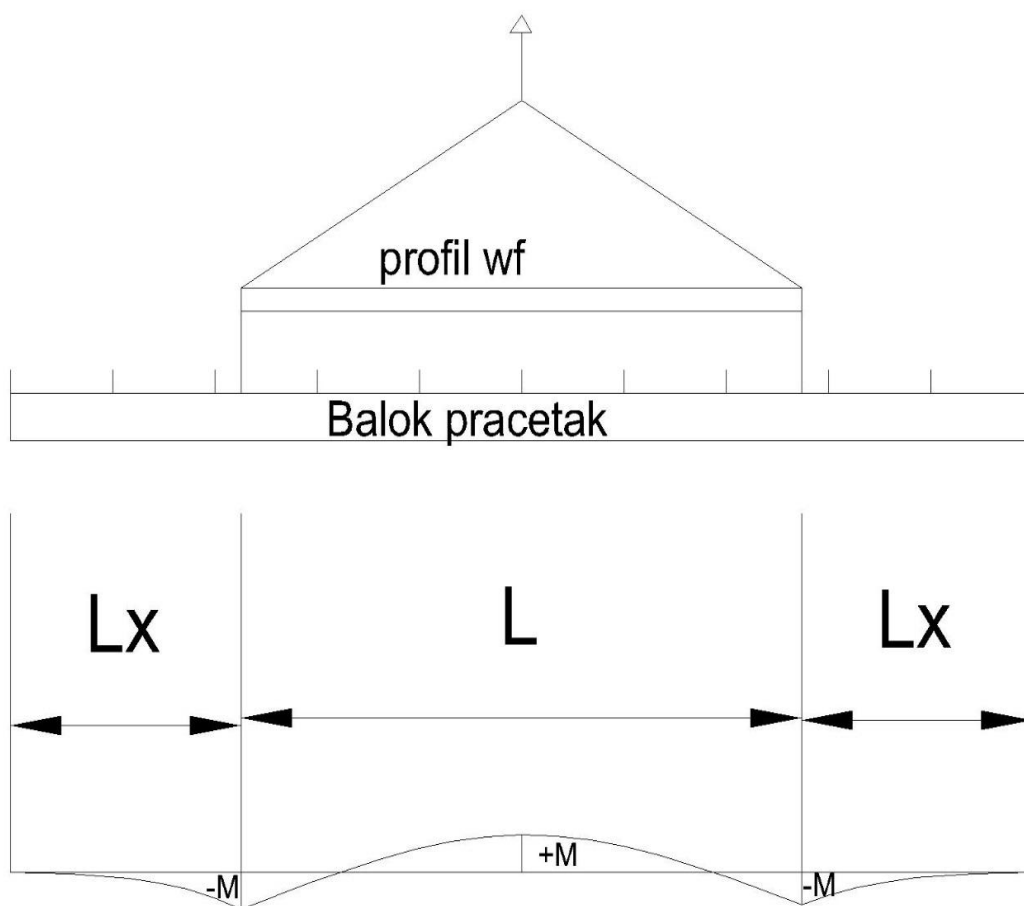
Gambar 4.29 Gambar detail balok B2

Sumber : Gambar AutoCAD

4.7 Analisis Balok Pracetak Saat Pengangkatan

4.7.1 Analisis Balok Pracetak Saat Pengangkatan Balok B1

Balok pracetak diangkat dengan menggunakan crane yang diangkat dengan dua titik angkat. Analisis pada kondisi ini perlu dikontrol pada saat pengangkatan terjadi.



Gambar 4.30 Model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan
 Sumber : PCI design handbook

Analisis Balok Pracetak Saat Pengangkatan Balok Induk Dimensi (40/40) L= 6 m

Dimana :

$$q_d = 1,4 \times 2,4 \times 0,40 \times 0,40 = 0,5376 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 5,367 \text{ kN/m}$$

Digunakan tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif yang terjadi adalah 2D-19

$$A_s = 1430 \text{ mm}^2$$

$$d = 511,5 - 50 - 0,5 \times 19 = 452 \text{ mm}$$

Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat :

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$1430 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 400 \times a$$

$$a = \frac{572000}{9877} = 57,912$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$M_n = 572000 \times (452 - 57,912/2) = 241981168 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 241,981 \text{ kNm}$$

Kapasitas momen negatif terfaktor ($\phi = 0,8$)

$$M_u = 0,8 \times 241,981 = 193,585 \text{ kNm}$$

Letak titik angkat (x)

$M_u = M_x$, dimana : M_x = Momen pada titik angkat

$$M_x = 0,5 \times q \times d^2$$

$$193,585 = 0,5 \times 5,367 \times x^2$$

$$x^2 = 72,129$$

$$x = 8,493 \text{ m}$$

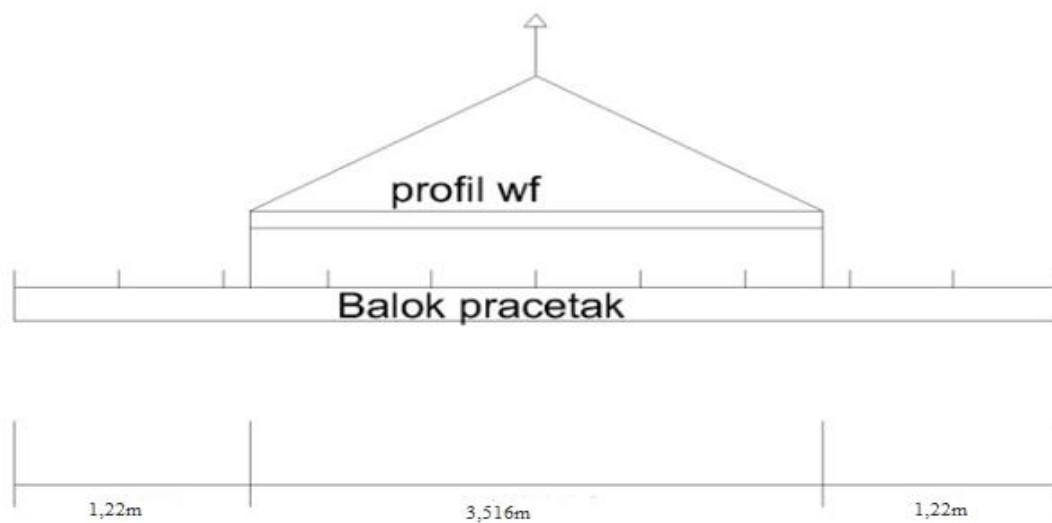
karena balok yang ditinjau hanya memiliki bentang 6 m, maka dicoba 1,242 m

$$M_1 = 0,5 \times 5,367 \times 1,242^2 = 4,139 \text{ kNm}$$

Syarat : $M_1 \leq \phi M_n$, dimana $\phi = 0,8$

$$4,139 \text{ kNm} \leq 193,585 \text{ kNm} \dots \text{ok!}$$

jadi letak titik angkat Balok B1 dengan bentang 6 meter adalah $x = 1,242 \text{ m}$



Gambar 4.31 Jarak tulangan angkat

Sumber : Gambar AutoCAD

Kapasitas momen positif atau momen lapangan balok B1

Digunakan tulangan lentur balok pracetak 6-D29 dengan $A_s = 3850 \text{ mm}^2$

$$d = 400 - 50 - 10 - (1,5 \times 29) = 296 \text{ mm}$$

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$3850 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 400 \times a$$

$$a = \frac{1540000}{9877} = 155,918 \text{ mm}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$M_n = 2540000 \times (296 - 155,918/2) = 335783140 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 335,783 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 335,783 \text{ kNm} = 268,626 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 1/8 \times q_d \cdot (L - 2x)^2 - 0,5 \times q_d \times x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

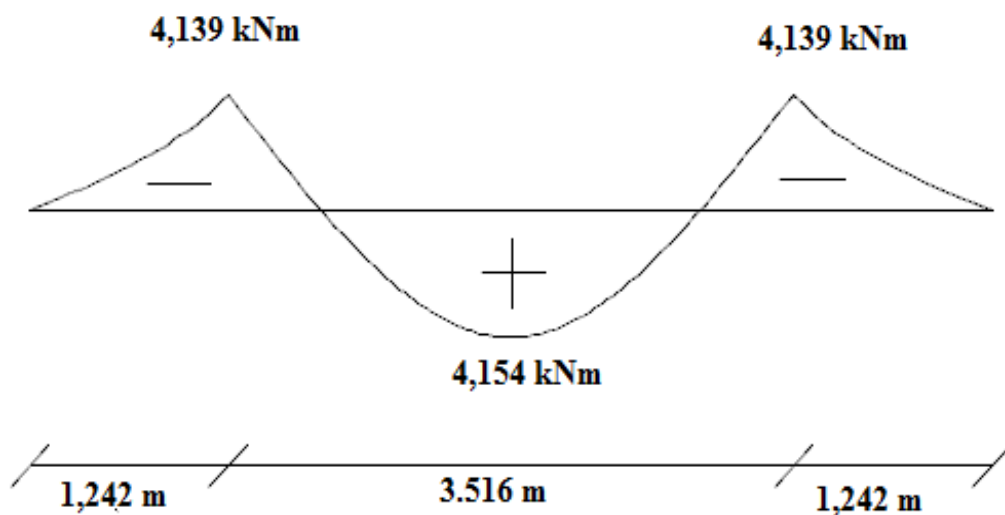
Dimana, $L_{bi} = 6 \text{ m}$, dan $x = 1,242 \text{ m}$

$$M_2 = 1/8 \times 5,367 \times (6 - 2 \times 1,242)^2 - 0,5 \times 5,367 \times 1,242^2$$

$$M_2 = 4,154 \text{ kNm}$$

Syarat : $M_2 \leq \phi M_n$, dimana $\phi = 0,8$

$$4,154 \text{ kNm} \leq 268,626 \text{ kNm} \dots \text{ok!}$$

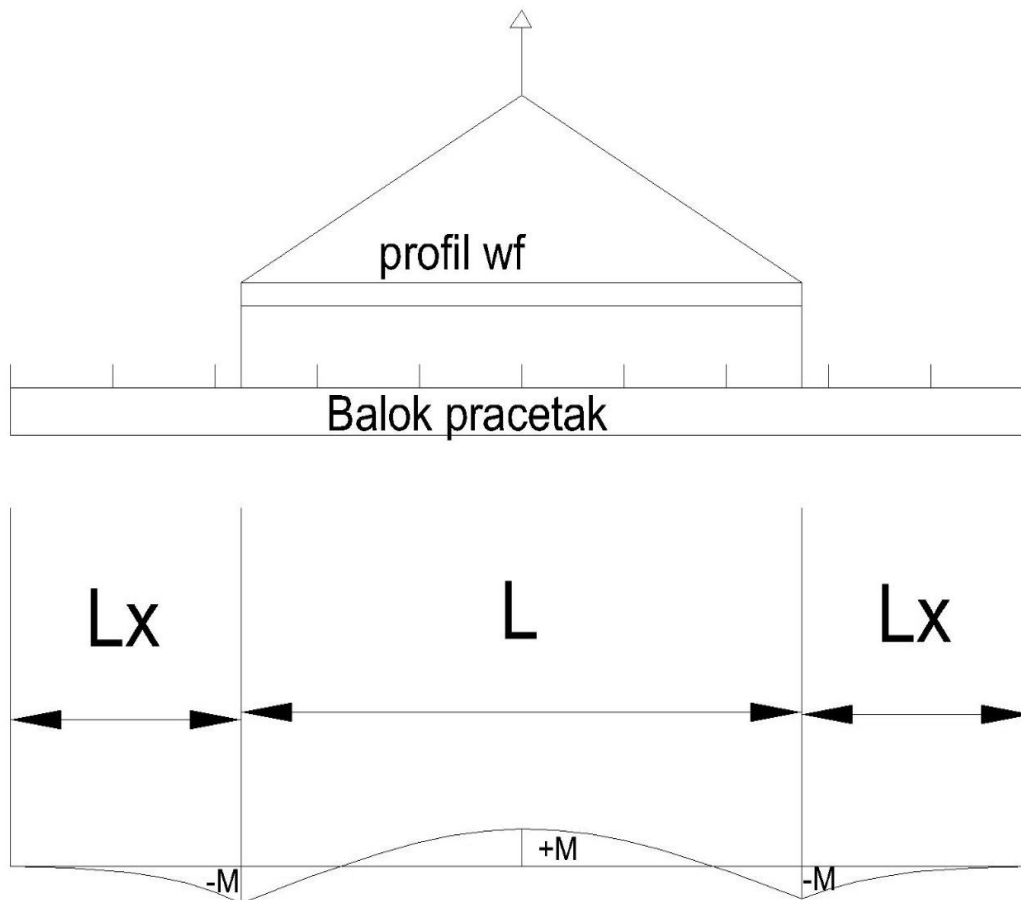


Gambar 4.32 Momen positif dan negatif

Sumber : Gambar AutoCAD

4.7.2 Analisis Balok Pracetak Saat Pengangkatan Balok B2

Balok pracetak diangkat dengan menggunakan crane yang diangkat dengan dua titik angkat. Analisa pada kondisi ini perlu dikontrol pada saat pengangkatan terjadi.



Gambar 4.33 Model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan
Sumber : PCI design handbook

Analisis Balok Pracetak Saat Pengangkatan Balok Induk Dimensi (30/30) $L = 6$ m

Dimana :

$$q_d = 1,4 \times 2,4 \times 0,30 \times 0,30 = 0,3024 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 3,024 \text{ kN/m}$$

Digunakan tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif yang terjadi adalah 2D-19

$$A_s = 1430 \text{ mm}^2$$

$$d = 411,5 - 50 - 0,5 \times 19 = 352 \text{ mm}$$

Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat :

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$1430 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 300 \times a$$

$$a = \frac{572000}{7407,75} = 77,216$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$M_n = 572000 \times (352 - 77,216/2) = 179260224 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 179,260 \text{ kNm}$$

Kapasitas momen negatif terfaktor ($\phi = 0,8$)

$$M_u = 0,8 \times 179,260 = 143,408 \text{ kNm}$$

Letak titik angkat (x)

$M_u = M_x$, dimana : M_x = Momen pada titik angkat

$$M_x = 0,5 \times q \times d^2$$

$$147,825 = 0,5 \times 3,024 \times x^2$$

$$x^2 = 97,767$$

$$x = 9,888 \text{ m}$$

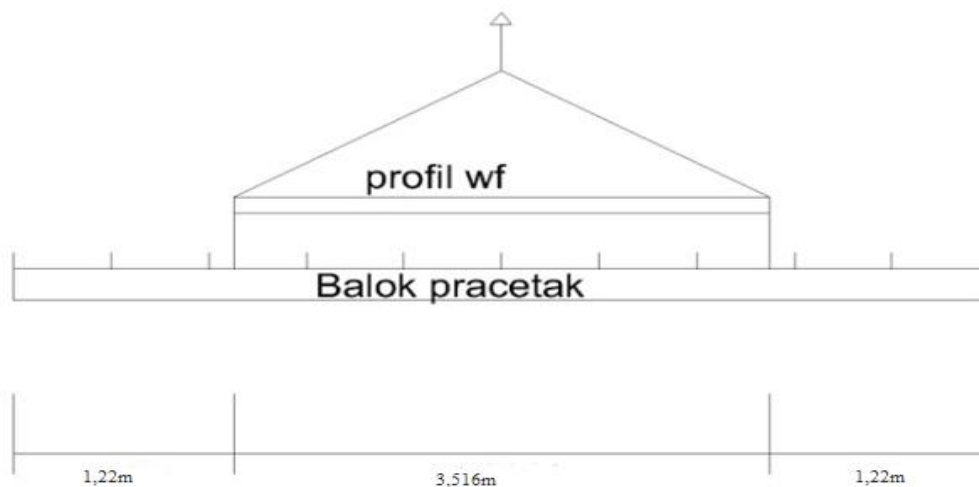
karena balok yang ditinjau hanya memiliki bentang 6 m, maka dicoba 1,242 m

$$M_1 = 0,5 \times 3,024 \times 1,242^2 = 2,332 \text{ kNm}$$

Syarat : $M_1 \leq \phi M_n$, dimana $\phi = 0,8$

$$2,332 \text{ kNm} \leq 143,408 \text{ kNm} \dots \text{ok!}$$

jadi letak titik angkat Balok B1 dengan bentang 6 meter adalah $x = 1,242 \text{ m}$



Gambar 4.34 Jarak tulangan angkat
Sumber : Gambar AutoCAD

Kapasitas momen positif atau momen lapangan balok B2

Digunakan tulangan lentur balok pracetak 6-D25 dengan $A_s = 3040 \text{ mm}^2$

$$d = 400 - 50 - 10 - (1,5 \times 25) = 202,5 \text{ mm}$$

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$3850 \times 400 = 0,85 \times 29,05 \times 300 \times a$$

$$a = \frac{1216000}{7407,75} = 164,152 \text{ mm}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$M_n = 2540000 \times (202,5 - 164,152/2) = 146435336 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 146,435 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 146,435 \text{ kNm} = 117,148 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 1/8 \times q_d \cdot (L - 2x)^2 - 0,5 \times q_d \times x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

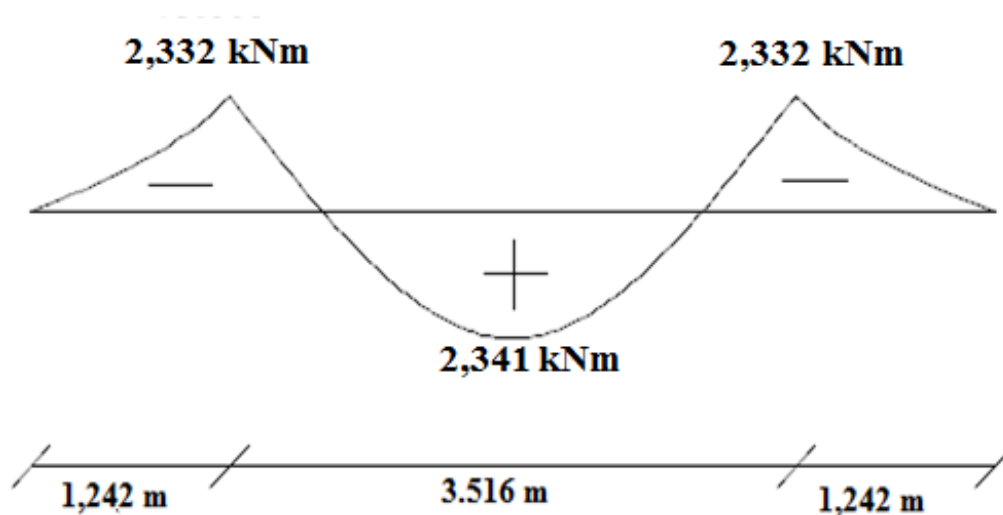
Dimana, $L_{bi} = 6 \text{ m}$, dan $x = 1,242 \text{ m}$

$$M_2 = 1/8 \times 3,024 \times (6 - 2 \times 1,242)^2 - 0,5 \times 3,024 \times 1,242^2$$

$$M_2 = 2,341 \text{ kNm}$$

Syarat : $M_2 \leq \phi M_n$, dimana $\phi = 0,8$

$$2,341 \text{ kNm} \leq 146,435 \text{ kNm} \dots \text{ok!}$$



Gambar 4.35 Momen positif dan negatif

Sumber : Gambar AutoCAD

4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak

4.8.1 Pendetailan Sambungan

Sambungan dalam perencanaan elemen pracetak selain sebagai penghubung antar elemen pracetak juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang bekerja dari elemen struktur satu dengan lain yang nantinya akan diteruskan ke pondasi.

Desain sambungan yang dipakai dalam perancangan ini adalah sambungan basah, seperti cor di tempat maupun dengan cara grouting sudah banyak diterapkan atau dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak.

Menggunakan balok ukuran 400 x 600 mm dengan tulang D-19

f_y (tegangan leleh baja) = 400 MPa

f'_c (kuat tekan beton) = 29,05 MPa

α (faktor lokasi penulangan) = 1

β (faktor pelapis) = 1

γ (faktor ukuran batang tulangan) = 1

λ (faktor berat beton) = 1

d_b (diameter tulangan balok) = 19 mm

faktor selimut beton = 0,7

faktor sengkang = 0,8

- Menentukan L_d (tulangan kondisi tarik) SNI 2837-2013

$$L_d = \frac{f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda \times d_b}{1,7 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{400 \times 1 \times 1 \times 1 \times 19}{1,7 \times \sqrt{29,05}} = 829,453 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

- Menentukan L_{db} (tulangan kondisi tekan)

$$L_{db} = (0,24 \cdot f_y / \lambda \times \sqrt{f'_c}) \cdot d_b = (0,24 \cdot 400 / 1 \times \sqrt{29,05}) \cdot 19 = 338,417 \text{ mm}$$

$$L_{db} = (0,043 \cdot f_y) \cdot d_b = (0,043 \times 400) \times 19 = 326,8 \text{ mm}$$

maka dipilih nilai terbesar yaitu $L_{db} = 338,417 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$

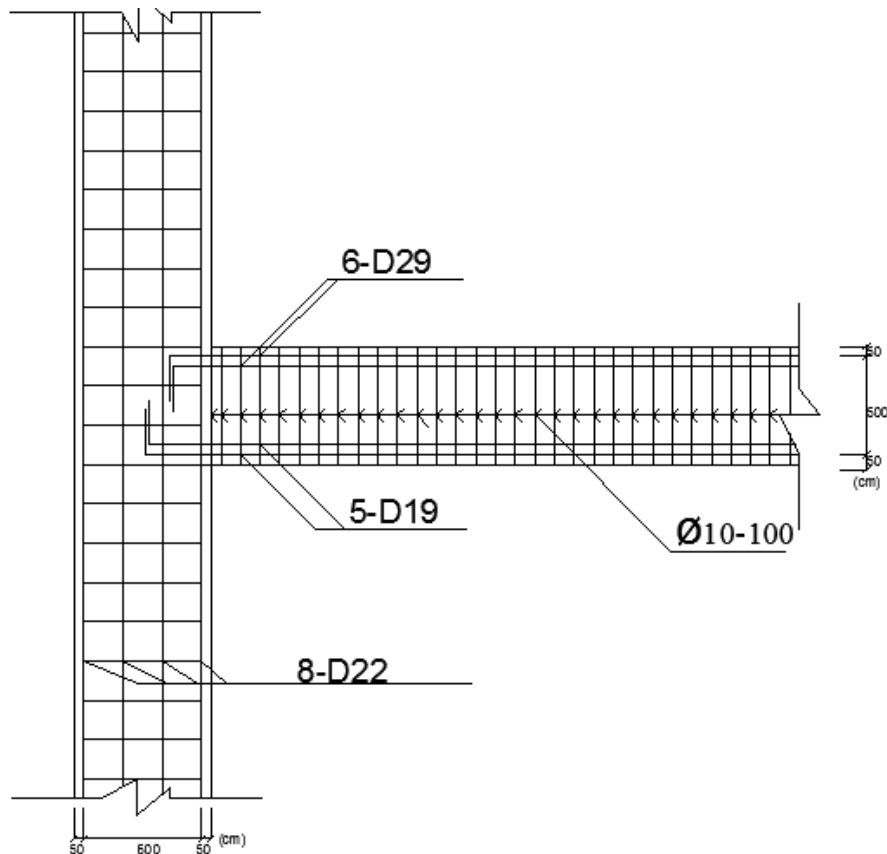
- Menentukan L_{dh} (tulangan berkait dalam kondisi tarik)

$$L_{dh} = (0,24 \times \beta \times f_y / \lambda \times \sqrt{f'_c}) \times d_b = (0,24 \times 1 \times 400 / 1 \times \sqrt{29,05}) \times 19 = 338,417 \text{ mm}$$

L_{dh} harus dikalikan dengan faktor selimut beton dan faktor sengkang

$$L_{dh} = 338,417 \times 0,7 \times 0,8 = 189,513 \text{ mm}$$

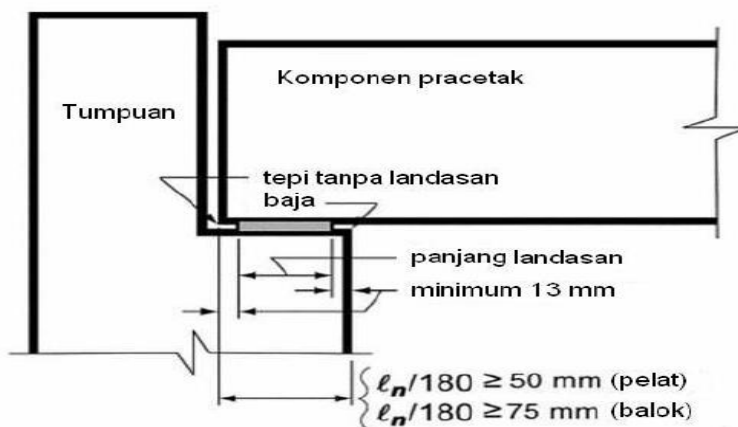
$L_{dh} > 150 \text{ mm}$, maka menggunakan L_{dh} sebesar 189,513 mm



Gambar 4.36 Gambar detail sambungan
Sumber : AutoCad

4.8.2 Perencanaan Tumpuan

Tumpuan pada sambungan balok-kolom sebelum cor penuh berdasarkan SNI 7833-2012 terjadi seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 4.37 Gambar tumpuan balok-kolom sebelum cor penuh
Sumber : SNI 7833-2012

$\ell_n/180 = 6000/180 = 33,333 \text{ mm}$ maka digunakan total panjang landasan untuk balok sebesar 75 mm

4.9 Analisis Hubungan Balok-Kolom Pracetak

4.9.1 Analisis hubungan untuk balok-kolom tengah

Jumlah tulangan yang mengalami tekan (-), 6-D19 (1720 mm²)

$$A_g = A_s = 1720 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1720 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} = 87,071 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= A_s \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 1720 \times 400 \times (550-87,071/2) = 348447576 \text{ Nmm} = 348,447 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang mengalami tarik (+), 6-D29 (3850 mm²)

$$A_g = A_s = 3850 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{3850 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} = 194,897 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n^+ &= A_s \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 3850 \times 400 \times (550-194,897/2) = 696929310 \text{ Nmm} = 696,929 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= (M_n^- + M_n^+)/2 \\ &= (348,447 + 696,929)/2 = 522,668 \text{ kNm} \end{aligned}$$

M_u (522,668 kNm) < M_n max (696,929 kNm). . . OK!

$$V_h = \frac{2 \times M_u}{L/2} = \frac{2 \times 522,668}{4/2} = 522,668 \text{ kN}$$

$$T_1 \text{ (8-D22)} = A_s \times 1,25 \times f_y = 3100 \times 1,25 \times 400 = 1550000 \text{ N} = 1550 \text{ kN}$$

$$T_2 \text{ (8-D22)} = A_s \times 1,25 \times f_y = 3100 \times 1,25 \times 400 = 1550000 \text{ N} = 1550 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

$$\begin{aligned} V &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 1550 + 1550 - 522,668 = 2577,332 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 1,7 \times A_j \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0,75 \times 1,7 \times (700 \times 700) \times \sqrt{29,05} = 3367281 \text{ N} = 3367,281 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c (3367,281 \text{ kN}) > V (2577,332 \text{ kN}) \dots \text{OK! (Sambungan Aman)}$$

4.9.2 Analisis hubungan untuk balok-kolom tepi

Jumlah tulangan yang mengalami Tarik untuk momen negative adalah 6-D29 (3850 mm²)

$$A_g = A_s = 3850 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{3850 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} = 194,897 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= A_s \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 3850 \times 400 \times (550-194,897/2) = 696929310 \text{ Nmm} = 696,929 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= M_n^- / 2 \\ &= 696,929 / 2 = 348,465 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$M_u < M_n \dots \text{OK!}$$

$$V_h = \frac{2 \times M_u}{L/2} = \frac{2 \times 696,929}{4/2} = 696,929 \text{ kN}$$

$$T_1 (6\text{-D29}) = A_s \times 1,25 \times f_y = 3850 \times 1,25 \times 400 = 1925000 \text{ N} = 1925 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

$$\begin{aligned} V &= T_1/2 - V_h \\ &= 1925/2 - 696,929 = 265,571 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 1,2 \times A_j \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0,75 \times 1,2 \times (450 \times 700) \times \sqrt{29,05} = 1528009,772 \text{ N} = 15280,098 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c (15280,098 \text{ kN}) > V (265,571 \text{ kN}) \dots \text{OK! (Sambungan Aman)}$$